

دور تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها في تحسين الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية

نوال قاسم سالم بدحي

قسم العلوم الاقتصادية-كلية الاقتصاد والعلوم السياسية-جامعة عدن

nawalbadhi2020yyy@gmail.com

المخلص

هدف البحث إلى دراسة دور تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها (DMU ، PLM ، CAE ، CAM ، CAD) في تحسين الكفاءة الإنتاجية بالمنشآت الصناعية. وتم تحليل تجارب تطبيقها في منشآت عالمية وعربية للاستفادة منها في البيئة الصناعية المحلية. أظهرت النتائج وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وتحقيق انخفاض في زمن الانتاج ونسب الهدر والتكاليف، مع تحسن في الجودة والطاقة التشغيلية. وخلص البحث إلى ضرورة تطوير البنية الرقمية للمصانع في اليمن، وتدريب الكوادر الهندسية، ودمج مفاهيم الهندسة المتزامنة في المناهج الجامعية لمواكبة التحول الصناعي الرقمي. **الكلمات المفتاحية:** الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد - الكفاءة الإنتاجية - CAD - CAM - CAE - PLM - DMU - التحول الرقمي الصناعي.

The Role of 3D Concurrent Engineering Technologies and Their Tools in Improving Production Efficiency in Industrial Facilities

Abstract

This study investigates the role of Three Dimensional Concurrent Engineering (3D CE) techniques and their tools, including CAD, CAM, CAE, PLM, DMU, in enhancing productivity efficiency in industrial facilities. The study analyzes global and Arab case applications to derive lessons for similar local manufacturing environments. The findings reveal a statistically significant relationship between the adoption of 3D CE tools and improvements in reducing production time, waste and costs, while enhancing quality and operational capacity. The study recommends developing Yemen's industrial digital infrastructure training engineering personnel on 3D CE tools, and integrating concurrent engineering concepts into university curricula to support the digital industrial transformation.

Keyword: Three Dimensional Concurrent Engineering – Productivity Efficiency – CAD – CAM – CAE – PLM – DMU – Digital Industrial Transformation.

المقدمة:

مع تطور النظم الصناعية، وتحول بيئات الإنتاج إلى فضاءات معقدة عالية التنافسية، لم تعد أدوات الإدارة والإنتاج التقليدية قادرة على مواكبة متطلبات السوق من حيث تقليص زمن تطوير المنتجات، وضمان الجودة، وتحسين الكفاءة التشغيلية. وقد أدى هذا إلى بروز منهجيات متقدمة تتبنى تكامل العمليات منذ المراحل الأولى لتطوير المنتج. ولعل من أبرز هذه المنهجيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، التي تمثل نقلة نوعية في الفكر الصناعي من خلال دمج التصميم، والتحليل، والتصنيع في بيئة رقمية موحدة. حيث تستند الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد إلى توظيف مجموعة من الأدوات الرقمية المتقدمة مثل؛ أنظمة التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD)، والتصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM)، والتحليل الهندسي (CAE)، إلى جانب نظم إدارة دورة حياة المنتج (PLM)، والنمذجة الرقمية الافتراضية (DMU). ويُعد هذا التكامل عاملاً حاسماً في تقليص زمن الإطلاق إلى السوق، وتحسين الإنتاجية، وتقليل التكاليف التشغيلية، وزيادة المرونة التنافسية للمنشآت الصناعية.

وقد شهدت منشآت صناعية عالمية وعربية تحولات ملموسة نتيجة تطبيق هذه الأدوات المتكاملة ضمن إطار الهندسة المتزامنة، حيث تم تحقيق خفض في الوقت المستغرق لتطوير المنتجات بنسبة تجاوزت 30%، وتحسين كفاءة خطوط الإنتاج بنسبة تفوق 25% وفقاً لتقارير الصناعة الدولية.

ومن الناحية الفنية؛ فإن تكامل أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد يُمكن المنشآت من الانتقال من العمل التسلسلي إلى بيئة تطوير متوازية، حيث تتفاعل فرق التصميم والتصنيع والجودة في وقت واحد؛ مما يقلل إعادة العمل، ويزيد من توافق المنتج مع متطلبات السوق. كذلك فإن تطبيقات هذه الأدوات لا تقتصر على الصناعات الكبرى، بل تمتد إلى المنشآت الصغيرة والمتوسطة؛ مما يجعلها أداة إستراتيجية لتحقيق التنمية الصناعية المستدامة.

وتُعد الكفاءة الإنتاجية من المفاهيم الجوهرية التي تُشكل مؤشراً رئيسياً على مدى فاعلية الأداء الصناعي، حيث ترتبط بشكل مباشر بقدرة المنشأة على الإستغلال الأمثل للموارد، وتحقيق قيمة مضافة. ومن هنا تتعاظم أهمية دمج أدوات وتقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في منظومة العمل الصناعي؛ لتحقيق تحسينات جوهرية في الكفاءة لاسيما في الدول التي تسعى إلى إعادة هيكلاها الصناعي لمواكبة التطورات العالمية. وبناءً على ذلك؛ وتحقيقاً لأهداف البحث تم تقسيمه إلى أربعة مباحث، وذلك على النحو الآتي:

المبحث الأول: المفاهيم الأساسية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد والكفاءة الإنتاجية.

المبحث الثاني: تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها.

المبحث الثالث: دراسات تطبيقية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في عدد من الشركات العالمية والعربية.

المبحث الرابع: تحليل النتائج المتحققة للشركات العالمية والعربية من تطبيقها للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد.
منهجية البحث:

1) مشكلة البحث: في ظل التغيرات التكنولوجية المتسارعة، والتحول نحو الصناعة الذكية، أصبحت المنشآت الصناعية مطالبة بتبني تقنيات حديثة تواكب متطلبات السوق العالمية من حيث الجودة والسرعة والكفاءة. ومن أبرز هذه التقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد التي تسعى إلى دمج مراحل التصميم والإنتاج والتخطيط في بيئة رقمية متكاملة ومتزامنة. وعلى الرغم من تزايد استخدام هذه التقنية في الدول الصناعية، فتظل تطبيقاتها في البيئات العربية خصوصاً في المنشآت الصناعية محدودة وغير ممنهج، كما أن أثرها المباشر في تحسين الكفاءة الإنتاجية لم يُدرس كفايةً في السياق المحلي. ومن هنا تنطلق مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس الآتي:

ما دور تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها في تحسين الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية؟

2) أهداف البحث: يتمثل الهدف الرئيس للدراسة في التعرف إلى دور تطبيق تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها في تحسين الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية، وتحليل نتائج تطبيقاتها في منشآت صناعية عالمية وعربية بما يُمكن الاستفادة منها في بيئات التصنيع المحلية والعربية المشابهة.

3) أهمية البحث:

1- يسعى البحث إلى سد فجوة بحثية قائمة في الأدبيات المحلية والعربية المتعلقة بتطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، وربطها بمؤشر الكفاءة الإنتاجية.

2- تُقدم نموذجاً تحليلياً متكاملًا يربط بين تقنيات التصميم الرقمي، مثل: PLM، CAE، CAM، CAD، ونتائج التحسين الفعلي في العمليات الإنتاجية.

3- تمكن المنشآت الصناعية من تحديد أثر تطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في مؤشرات الأداء الإنتاجي، مثل: تقليل وقت الدورة، وخفض الفاقد، وتحسين جودة المنتج.

4- تسهم في إثراء الدراسات الصناعية متعددة التخصصات، بالدمج بين الهندسة الصناعية والإدارة الإنتاجية والتحول الرقمي.

5- توفر أرضية علمية لبحوث مستقبلية حول التحسين الذكي للعمليات، والتكامل بين التصميم والتصنيع والصيانة في بيئة رقمية متزامنة.

4) أسلوب ومنهج البحث:

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي وذلك لتأصيل المفاهيم النظرية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، والكفاءة الإنتاجية، وتحليل العلاقة بينهما. ومدعوماً بمنهج الدراسة التحليلية لتطبيقات الشركات الصناعية العالمية والعربية للوصول إلى نتائج تطبيق تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها وتأثيرها على مؤشرات الكفاءة الإنتاجية.

الدراسات السابقة:

(أ) الدراسات المتعلقة بالمتغير المستقل (الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد):

1- دراسة عبد الكاظم (2022م): بعنوان **توظيف تقنية الهندسة المتزامنة في تصميم المنتج وتأثيره على تعزيز الميزة التنافسية** "دراسة استطلاعية في معمل الألبسة الرجالية الجاهزة/ النجف الأشرف": هدفت الدراسة إلى تتبع العلاقة بين الهندسة المتزامنة وتعزيز الميزة التنافسية بتطبيقها في تصميم المنتجات الصناعية؛ وذلك من خلال؛ تشخيص مستوى تطبيق تقنية الهندسة المتزامنة في تصميم المنتجات داخل المعمل محل الدراسة، وتحليل الأثر الذي تتركه التقنية في تعزيز عناصر الميزة التنافسية؛ مثل: خفض التكلفة، وتحسين الجودة، والاستجابة السريعة، والمرونة. وتوصلت الدراسة إلى العديد من النتائج والتوصيات أهمها؛ أسهمت التقنية في تقليل

مدة حياة دورة التصميم، وخفض التكاليف التشغيلية، ورفع مستوى الجودة، وتسريع الاستجابة لمتغيرات السوق وطلبات الزبائن؛ وهو يعزز الميزة التنافسية للمنشأة.

2-دراسة فتيح (2017): بعنوان الهندسة المتزامنة ومناهج تنفيذها في ظل متغيرات بيئة الإنتاج الحديثة: هدفت الدراسة إلى دراسة كيفية تنفيذ منهجيات الهندسة المتزامنة في بيئات الإنتاج الحديثة، وتحليل تأثير هذه المنهجيات على تحسين الكفاءة الإنتاجية وتقليل التكاليف. وخلصت إلى عدد من النتائج والتوصيات أهمها؛ أظهرت الدراسة أن تطبيق منهجيات الهندسة المتزامنة في بيئات الإنتاج الحديثة يؤدي إلى تحسين الكفاءة الإنتاجية وتقليل التكاليف. كما تؤدي إلى تحسين جودة المنتجات وزيادة رضا العملاء نتيجة لتطبيق هذه المنهجيات.

3-دراسة علي (2015): بعنوان "إطار مقترح لاستخدام أسلوب الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في ظل الإدارة الإستراتيجية للتكلفة بهدف زيادة القدرة التنافسية (دراسة تطبيقية)": هدفت الدراسة إلى معالجة مشكلة تأخر طرح المنتجات في السوق، وارتفاع تكاليف التصميم الناتجة عن استخدام أسلوب التصميم التتابعي وذلك بتقديم إطار مقترح لتطبيق أسلوب الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، وكذلك بدمج هذا الأسلوب مع الإدارة الإستراتيجية للتكلفة لتعزيز القدرة التنافسية للمنظمات الصناعية. وتمثلت أهم نتائج هذه الدراسة في أنه أدى تطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد إلى تحسين التنسيق بين مراحل التصميم، والإنتاج، وسلسلة التوريد. كما أسهم الدمج مع الإدارة الإستراتيجية للتكلفة في تحقيق وفورات مالية، وزيادة القدرة التنافسية.

4-دراسة Eric Joseph, Wardell (2015): بعنوان الهندسة المتزامنة من خلال التوازي بين التصميم والتحليل: هدفت الدراسة إلى إقتراح بنية متكاملة متعددة المستخدمين تربط بين التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) والتحليل بمساعدة الحاسوب (CAE) لتقليل زمن التكرارات بين التصميم والتحليل وتحقيق التوازي بين العمليات. أظهرت نتائج الاختبار أن البنية المقترحة تقلل من زمن التكرارات في دورة التصميم والتحليل. وتمكنت البنية من تحقيق توازي بين بعض مهام التصميم والتحليل وذلك يعزز من كفاءة عملية التصميم الهندسي.

5-دراسة الدليمي (2012م): بعنوان دور الهندسة المتزامنة في تحسين أداء العملية: دراسة ميدانية في شركة الفرات العامة للصناعات الكيماوية والمبيدات: هدفت الدراسة إلى تحديد مدى تبني الشركة لأبعاد الهندسة المتزامنة: (التوازي، والتكامل، والتقييس، والأمثلة)، وقياس أثر هذه الأبعاد في مؤشرات أداء العمليات، مثل: الجودة، والكفاءة، والمرونة. توصلت الدراسة إلى أن تطبيق أبعاد الهندسة المتزامنة له تأثير إيجابي ملموس في تحسين أداء العمليات في الشركة إذ أسهم في تحسين جودة المنتجات، وزيادة كفاءة العمليات وتقليل الهدر، وتعزيز مرونة العمليات في الإستجابة لمتطلبات السوق.

(ب) الدراسات المتعلقة بالمتغير التابع (الكفاءة الإنتاجية) :

1-دراسة Nima Manafzadeh, Dizbin (2022): بعنوان نمذجة وتحكم في أنظمة الإنتاج بناءً على أوقات التفاعل المرصودة - تحقيق تحليلي وتجريبي: هدفت الدراسة إلى استكشاف كيفية استخدام البيانات المجمعة من خطوط الإنتاج لتقييم الأداء وتحسين أنظمة التصنيع. وتطوير سياسات تحكم تعتمد على الحالة لتحسين الكفاءة الإنتاجية. وتطبيق تقنيات تعلم الآلة لتوقع أوقات

الدورة وتحسين الأداء في بيئات صناعية حقيقية. وخلصت الدراسة إلى أن تطبيق تقنيات تعلم الآلة أدى إلى تحسين دقة توقع أوقات الدورة في بيئة صناعية حقيقية.

2-دراسة طه، مكرم يوسف علي (2018م): بعنوان "الرقابة على الإنتاج ودورها في رفع الكفاءة الإنتاجية - دراسة حالة شركة جياو للسيارات": هدفت الدراسة إلى إبراز دور الرقابة على الكفاءة الإنتاجية، والتعرف إلى أنواع الرقابة، والاهتمام بعنصر الإنسان. وتمثلت أهم النتائج في وجود علاقة إيجابية بين تطبيق الخطط الرقابية ورفع الكفاءة الإنتاجية. وكذلك أهمية الرقابة في الكشف عن الانحرافات وتصحيحها في الوقت المناسب. أضف إلى تأثير العنصر البشري في فعالية الرقابة على الإنتاج.

3-دراسة السعيد، صالح (2013م): بعنوان "تحسين الكفاءة الفنية والاقتصادية بالمؤسسة الاقتصادية الإنتاجية" دراسة اقتصادية قياسية: هدفت الدراسة إلى بيان كيفية الاستفادة من الإمكانيات المتاحة للمؤسسة الاقتصادية الإنتاجية بهدف تحسين الكفاءة الفنية والاقتصادية. وتمثلت أهم نتائجها في أهمية التقييم المستمر للأداء لتحسين استغلال الموارد المتاحة. وتحديد الفجوات بين الأداء الفعلي والطاقة الإنتاجية المتاحة. وتأثير التخطيط الإستراتيجي في تحسين الكفاءة الفنية والاقتصادية.

4-دراسة هنية (2005): بعنوان العوامل المؤثرة على إنتاجية العاملين في القطاع الصناعي: دراسة تطبيقية على قطاع الصناعات الخشبية في قطاع غزة: هدفت الدراسة إلى التعرض إلى مفهوم الإنتاجية، وأهميتها، وطرائق قياسها، وكذلك أهم العوامل المؤثرة فيها، ومدى المشكلات والمعوقات التي يواجهها. وتحديد العوامل الفنية والإنسانية المؤثرة في إنتاجية العاملين في القطاع الصناعي. وكذلك تحليل تأثير هذه العوامل في تحسين الأداء والإنتاجية. وأظهرت الدراسة أن كلاً من العوامل الفنية والإنسانية تؤدي دوراً مهماً في تحديد إنتاجية العاملين، وأن تحسين هذه العوامل يؤدي إلى زيادة الإنتاجية. كما أظهرت أن هناك علاقة بين إنتاجية العاملين في قطاع الصناعات الخشبية وبين عدد من العوامل التي تؤثر فيها، مثل؛ نظام الحوافز المطبق، ومدى وجود حقوق عمالية، وحجم رأس المال المستمر.

5-دراسة Yu-Feng,Wei (2001): بعنوان التصميم المتزامن لتحقيق الجودة المثلى ووقت الدورة: هدفت الدراسة إلى تطوير نموذج رياضي تكاملي يدعم اتخاذ القرارات في مراحل التصميم يشمل التصميم الهندسي، وتحديد السماحات، وتخطيط العمليات. وتحقيق التوازن المثالي بين جودة المنتج، وتكلفة الإنتاج، وزمن الدورة الإنتاجية. وكذلك إثبات فعالية التصميم المتزامن في الواقع الصناعي بتطبيق عملي على قطاع تصنيع. وتمثلت أهم النتائج في أن الباحث طور أنموذج تكاملي للتقييم يجمع بين تصميم الأجزاء، وتحديد السماحات، وتخطيط الإنتاج بهدف تقييم التكلفة الإجمالية للنظام الصناعي. وأظهر الأنموذج أن التغيرات في تصميم الأجزاء والسماحات تؤثر مباشرة في جودة المنتج النهائي ومعدل الإنتاجية.

تظهر الدراسات السابقة، سواء أكانت العربية أم الأجنبية، إهتماماً متزايداً بموضوع الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مدخلاً تكاملياً لتحسين الأداء الصناعي؛ بدءاً من التصميم حتى الإنتاج. وتؤكد تلك الدراسات على دور هذه المنهجية في تقليل زمن دورة الإنتاج، وتحسين جودة المنتج، وتعزيز التعاون بين الفرق متعددة التخصصات. في المقابل؛ تركز دراسات أخرى على الكفاءة الإنتاجية هدفاً مركزياً في التطوير الصناعي، وتربطها بعوامل مثل تطبيقات تكنولوجيا المعلومات، وإعادة تصميم العمليات، وتحليل سلسلة القيمة.

على الرغم أن الدراسات السابقة أسهمت في توسيع الفهم النظري والتقني للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، والكفاءة الإنتاجية وشكلت أرضية معرفية قوية تدعم توجه البحث الحالي، وتؤكد أهمية الموضوع، فالبحث الحالي يطرح إسهاماً علمياً تطبيقياً جديداً في بيئة صناعية تواجه تحديات حقيقية في البنية التحتية، والموارد، والإدارة. وكذلك يدمج بين الأدوات التقنية، مثل: (CAD ، CAM ،

(PLM, CAE) وبين قياسات الكفاءة الإنتاجية كمياً (زمن الإنتاج، ونسبة التالف، وحجم الإنتاج، والتكاليف)، وهو ما لم تتطرق له معظم الدراسات السابقة بشمول. إضافة إلى كونه يتميز بتحليل تطبيقات فعلية لشركات صناعية عالمية وعربية، ودمج التقنيات ثلاثية الأبعاد الرقمية مع الكفاءة الإنتاجية؛ وذلك يمنحه قيمة بحثية مضافة في الإطارين الأكاديمي والعملي، ويعزز من قيمته العلمية والعملية، ويجعله امتداداً لتلك الجهود البحثية.

المبحث الأول: المفاهيم الأساسية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد والكفاءة الإنتاجية
أولاً: المفاهيم الأساسية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد:

ظهر أسلوب الهندسة المتزامنة في نهاية الثمانينات ليوضح الطريقة النظامية للتصميم المتزامن لكل من المنتج وجدولة العمليات الإنتاجية ودعمها، والهندسة المتزامنة كمفهوم تعني تقليل وقت تطوير المنتج إستجابة للتغيرات التي حصلت في تقنيات التصنيع، وإدارة الجودة، وتركيب السوق، وزيادة تعقيد المنتجات، والطلبات على الجودة العالية، وسرعة التسليم لأجل تقليل التكلفة (الموسوي، 2013: 32). وشاع استخدام أسلوب الهندسة المتزامنة كوسيلة فعالة لتطوير وتصميم المنتجات الجديدة نتيجة العديد من المشاكل التي واجهت الأسلوب التقليدي المتبع في تصميم وتطوير المنتجات، فلقد كانت منظمات الأعمال تستخدم في تصميم منتجاتها مدخل الهندسة المتتابعة أو المتسلسلة (Sequential) والذي يعتمد على التتابع في أداء الأنشطة، بحيث لا تبدأ مهمة معينة إلا بعد إنتهاء المهمة التي تسبقها مع إنفراد قسم التصميم بعمليات تصميم وتغذية المنتجات اعتماداً على قسم التسويق فقط؛ مما يترتب على ذلك كثرة التعديلات، وإرتفاع التكلفة، مع زيادة الجهود، والوقت، وتكلفة التصميم والتطوير (عبدالحاميد، 2015: 7). وعرفت بأنها أسلوب لا يقتصر فقط على تزامن تصميم المنتج والعمليات الصناعية المرتبطة به، وإنما يمتد ليشمل تطوير وتصميم سلسلة التوريد بشكل متزامن مع كل منهما (Fine، 2005).

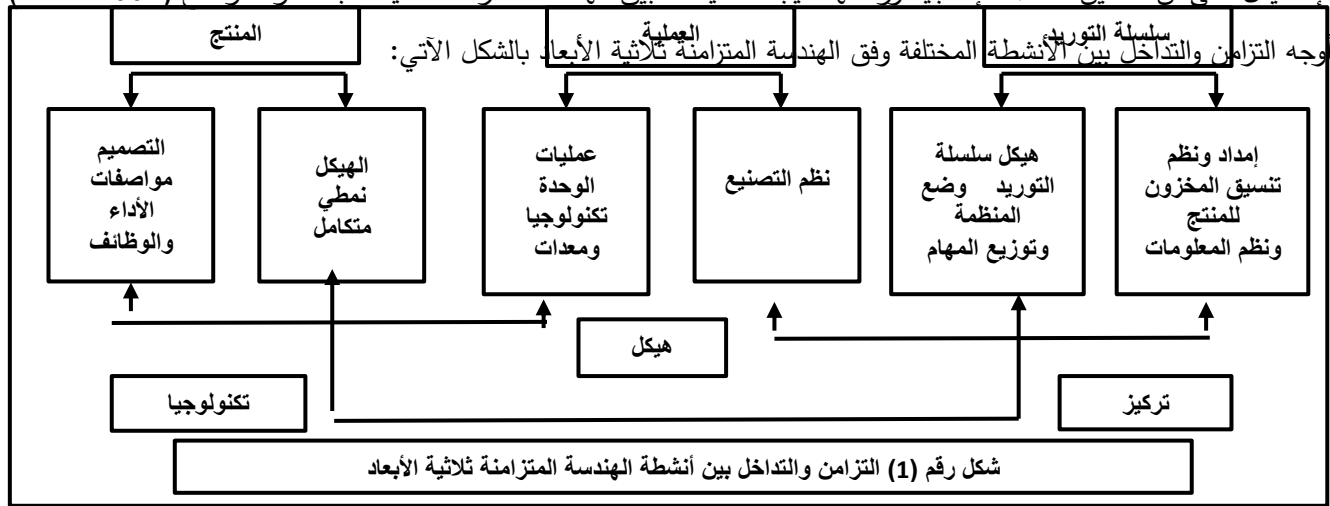
كما عرفت الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد بأنها "إستراتيجية عامة للمنظمة تقوم فلسفتها على تنفيذ مراحل تطوير وتصميم المنتج منذ المراحل الأولى لعملية التصميم (تصميم المنتج - تصميم العملية - تصميم سلسلة التوريد)، مستعينة في ذلك بالأساليب والأدوات اللازمة بهدف تقليل فترة وصول المنتج إلى السوق، وتحسين الجودة، وتخفيض التكاليف، وتحسين أداء سلسلة التوريد، وبما يزيد القدرة التنافسية للوحدة الإقتصادية" (علي، 2015: 624). ويرمي هذا التعريف إلى أن مفهوم الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد يمتد ليشتمل على توقع الأخطاء والعمل على توجيهها، إضافة إلى رسم البيئة المناسبة للوصول إلى تخطيط إستراتيجي يزيد من القدرة التنافسية للمنشآت في الأجل الطويل.

وعرفت بأنها أسلوب يتضمن التصميم والتطوير للمنتج والعمليات وسلسلة التوريد بشكل متزامن يمكن المنظمة من خفض وقت التصميم والتطوير، وخفض وقت الوصول للعملاء، وخفض التكلفة، وتحسين الجودة، مما يؤدي لتحقيق رضا العملاء وبالتالي ضمان التفوق على المنافسين في النصيب السوقي، وزيادة المبيعات" (محمد، 2020: 458). وبالنظر إلى هذا التعريف نجد أنه أورد بشكل صريح هدف رئيسي ونتيجة حتمية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد ألا وهو زيادة المبيعات؛ إذ لا جدوى من العمليات جميعها إذا لم يكن لها نتيجة فعلية متحققة للمنشأة، فإذا لم يتحقق التزامن والتوازي بين الأبعاد الثلاثة للهندسة المتزامنة زيادة المبيعات التي تنعكس على الأرباح فما الجدوى منها، لذلك أرى أن زيادة المبيعات نتيجة حتمية لتطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد.

ويتجسد المفهوم الجوهرى للمفهوم المعاصر للهندسة المتزامنة بإسهام كافة المستفيدين (الموردين، ومهندسي التصميم، والزبائن) في دورة حياة التطوير الكلية للمنتج (Entire Development Life Cycle)، للعمل مع بعضهم البعض في مرحلة

التصميم، وهذا التوجه الجديد يمكن أن يسهم على نحو فعال في تحسين جودة المنتج، وقدرة العملية على تخفيض تكاليف إعادة العمل في المراحل اللاحقة من العمليات الإنتاجية (الموسوي، 2013: 23).

وأرى أن قدرة العمليات على تخفيض تكاليف إعادة العمل في المراحل سواء في المراحل الأولى أو المراحل اللاحقة من العمليات الإنتاجية مؤشر هام ودليل على تحسين الكفاءة الإنتاجية وزيادتها على مستوى الوحدة الاقتصادية؛ وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على أن تحسين الكفاءة الإنتاجية وزيادتها نتيجة حتمية لتطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد. وقد أوضح (Fine: 2005)



والشكل السابق كما هو واضح يوضح أن هناك ثلاثة أبعاد أساسية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، وهي: تصميم المنتج، وتصميم العمليات الإنتاجية المرتبطة به، وتصميم سلسلة التوريد الخاصة بالمنتج. وبالتالي نجد أن أوجه التزام أو التداخل بين أنشطة الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد كالتالي:

◀ التزام بين تصميم المنتج وتصميم العملية الإنتاجية.

◀ التزام بين تصميم المنتج وتصميم سلسلة التوريد .

◀ التزام بين تصميم العمليات الإنتاجية وتصميم سلسلة التوريد .

ونتيجة حتمية لذلك ومحصلة هذا التزام القائم بين الوظائف الثلاث يوضح مفهوم الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد .

أهمية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد :-

تستجيب المنظمات المعاصرة في عالم الأعمال للبيئة المتغيرة لغرض تلبية إحتياجات السوق المتغيرة بسرعة وكفاءة عاليتين، وللتكيف، وصنع القرارات بسرعة، والعمل بصورة صحيحة، فالمنظمات لم تعد تستطيع إنتظار وقت المهام المتكررة مما يطيل الوقت الذي يؤخذ لجلب المنتجات الجديدة للسوق؛ لذا ظهرت الهندسة المتزامنة كطريقة لتقديم حلول سريعة لعملية تصميم المنتجات وتطويرها الذي يعد المنتج فيها أساساً في عملية التطوير. وتتمحور أهمية الهندسة المتزامنة في الآتي (البرزنجي، 2007: 15):

1- تعزيز الميزة التنافسية من خلال التخطيط الإستراتيجي لتطوير المنتج الجديد .

2- تحقيق الجودة المطلوبة التي تقابل متطلبات الزبائن .

3- دراسة حاجات السوق ومحاولة تغطيتها .

4- تحقيق رضا الزبون وعلى كافة مراحل دورة حياة المنتج .

5- تحديد الموارد والعمليات التصنيعية المطلوبة .

وهناك من يذكر أن أهمية الهندسة المتزامنة تتمثل في (Ellram & Stanley، 2008 :185):

1- مساعدة الوحدات الاقتصادية في مواجهة المنافسة المتزايدة عن طريق تقليل وقت الوصول إلى السوق، منتجات ذات جودة عالية، وتخفيض التكلفة .

2- توجيه تركيز الإدارة نحو الزبائن عن طريق تلبية إحتياجاتهم ومتطلباتهم في المنتج .

وأرى أن أهمية تقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تكمن في الإستجابة لمتطلبات الزبون، والتخطيط لها في مرحلة مبكرة من دورة حياة المنتج مع تشجيع العمل ضمن فريق متعدد الوظائف يقوم على أساس تبادل المعلومات والخبرات ذات العلاقة بجميع العمليات التي تتعلق بالمنتج، ناهيك عن دورها الفاعل في تحقيق الميزة التنافسية والحفاظ عليها. أهداف الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد:

اتجهت الشركات العالمية الناجحة إلى الحلول الإستراتيجية الكفوة على نحو متزايد، ومن هذه الحلول انتهاجها للهندسة المتزامنة، وذلك لأنها من أكثر الطرق والأساليب فاعلية في إدارة دورة حياة المنتج الكلية، وتكاليفه، والتصميم الأفضل لمفهوم المنتج، وبناء على ذلك يمكن تحديد أهداف الهندسة المتزامنة على النحو الآتي (علي، 2019 :29):

1- **تخفيض تكاليف التطوير:** إذ يساعد توظيف تقنية الهندسة المتزامنة في تخفيض التكاليف ذات العلاقة بتطوير المنتجات عن طريق تخفيض عدد مرات إعادة التصميم فضلاً عن الأخذ بمتطلبات الزبون منذ إنطلاق عملية إعداد التصميم المتعلق بتطوير المنتج.

2- **تحسين جودة المنتجات:** إذ يستهدف تطبيق الهندسة المتزامنة تحسين جودة عن طريق إنتاج منتجات بخصائص هندسية وفنية تراعي صوت الزبون.

3- **تعزيز الميزة التنافسية:** أي أن تطبيق تقنية الهندسة المتزامنة لا يساعد الوحدة الاقتصادية في تحقيق الميزة التنافسية فحسب بل يعمل على الحفاظ عليها أيضاً وتعزيزها إستناداً إلى فكرة أن التخطيط للمنتج لم يؤخذ بالإعتبار من الزبون وحده بل يشترك فيها المجهز أيضاً وخدمات ما بعد البيع.

4- **تخفيض تكاليف الإختبار (التشغيل التجريبي) للمنتجات:** إن التطوير والتعقيد للمنتجات قد يؤدي إلى زيادة تكاليف التشغيل التجريبي ولكن في ظل تطبيق تقنية الهندسة المتزامنة فإن هذا النوع من التكاليف قد يتخفض وذلك باستعمال أدوات داعمة لهذه التقنية وذلك بالتخطيط لعدد الأجزاء التي يتم تجميعها، والمواد، والعمليات التي يستلزمها إنتاج كل جزء .

5- **زيادة هامش الربح:** إن التوظيف الجيد لتقنية الهندسة المتزامنة قد يساعد في تحقيق ما تسعى إليه الوحدة الاقتصادية وهو زيادة الإيرادات وتخفيض التكاليف وبالنتيجة زيادة هامش الربح.

ويضاف بهذا الصدد أن الهندسة المتزامنة تهدف كذلك إلى (Ellram & Stanley، 2008 :186):

1- تشجيع الشركات على الابتكار وبشكل مستمر على مستوى المنتج، أو العمليات بغرض مواجهة التغيرات الحاصلة في السوق، والاستجابة السريعة لها مع تخفيض المخاطر التي قد تنشأ من فشل المنتج في السوق.

2- التخطيط للتغيرات الهندسية التي قد تحدث في مرحلة التصميم وذلك لتأثيرها المباشر في جميع مراحل دورة حياة المنتج. وأرى أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد - إضافة إلى ماتم ذكره من أهداف - تهدف بدرجة أساسية إلى الإستغلال الأمثل للموارد المتاحة للمنشأة ابتداءً من مرحلة التصميم مروراً بالعمليات وإنهاء بتوصيل المنتج وتسويقه للمستهلك النهائي؛ وهذا من شأنه أن يزيد من كفاءة المنشآت في إستغلال مواردها؛ والذي ينعكس كذلك على كفاءة العمل في مراحل التصنيع والتسويق و.... إلخ؛ والذي ينعكس بدوره على زيادة الكفاءة الإنتاجية للمنشأة ككل، والذي يعزى إلى التزامن والتوازي للأبعاد الثلاث للهندسة المتزامنة. ثانياً: المفاهيم الأساسية للكفاءة الإنتاجية:

برزت أهمية دراسة الكفاءة الإنتاجية وتحسينها في كافة الدول بشكل عام والدول النامية بشكل خاص لعلاقتها الوثيقة بحسن استغلال الموارد الاقتصادية للحصول على أكبر عائد أو أفضل خدمة، ونستطيع أن نلمس أهمية الكفاءة الإنتاجية على عدة مستويات: الفرد، والمنظمة، والاقتصاد القومي، والمجتمع بكامله. فأما بالنسبة للفرد العامل، فإن إنتاجيته تعكس مدى مساهمته في العمل الذي يؤديه، والمقدار الذي يعطيه من جهده وعلمه ومهارته. أما بالنسبة للمنظمة فإن الإنتاجية تعبر عن كفاءة الإدارة في استغلال الموارد والإمكانات المتاحة لها، والحصول من هذه الإمكانيات على أحسن نتيجة ممكنة. ومن جهة الاقتصاد القومي فالإنتاجية هنا انعكاس لأداء كافة الأجهزة، أو هي متوسط أداء هذه الأجهزة. وأما فيما يتعلق بالمجتمع كله، فإن الإنتاجية تؤثر على رفاهية هذا المجتمع، وذلك عن طريق السلع والخدمات ومدى جودتها والتي يتم توفيرها لأفراد ومؤسسات المجتمع (القليطي، 2007: 1).

(أ) مفهوم الكفاءة الإنتاجية:

هناك جدل حول مفهوم الكفاءة الإنتاجية بحسب إختلاف مفهوم المنشآت وأهدافها الرئيسية ومسئوليتها تجاه المجتمع. حيث أن القطاعات التي تهدف إلى تحقيق أرباح عالية تنتظر إلى الكفاءة الإنتاجية على أنها القدرة على إستخدام أحد عناصر الإنتاج أو كلها بشكل يحقق أفضل إنتاج بأقل تكلفة على المدى الطويل بإستخدام التكنولوجيا القائمة، في حين أن القطاعات التي تؤدي خدمات معينة ليس الهدف منها تحقيق الربح تنتظر إلى الكفاءة الإنتاجية على أساس تحقيق مستوى معين من الإنتاج بإستخدام عناصر إنتاج محددة بصرف النظر عن العائد المادي (بدر، 2016: 45).

حيث قصد بالكفاءة الإنتاجية الإستخدام الكفء للموارد، والعمل، ورأس المال، والأرض، والمعدات، والطاقة، والمعلومات في إنتاج سلع وخدمات مختلفة؛ وبالتالي ترتفع الإنتاجية كلما ارتفعت نسبة الناتج إلى الموارد المستخدمة (يحي، 2018: 33). لذا فإن زيادة مخرجات الإنتاج قد تؤدي إلى تحسين مؤشرات الكفاءة الإنتاجية، وقد لا يكون ذلك، وهذا كله يعتمد على الموارد المستخدمة التي أدت إلى حدوث مثل تلك الزيادة في مخرجات الإنتاج.

وهناك من ربط مفهوم الكفاءة الإنتاجية بثلاث تعاريف؛ وهي قياس التقدم التقني، وقياس إقتصاد الوسائل، وقياس الفعالية (المردودية) لنظام إنتاجي معطي، يتعلق التعريف الأول بدراسات وتفكير إقتصادي كلي مستمد من التطورات الإقتصادية، والإجتماعية العامة التي عرفتتها المجتمعات البشرية نتيجة النهضة التقنية. أما التعريف الثاني فيتعلق بإستعمال الموارد على المستويين الجزئي والكلّي؛ وفي هذا المعنى فإن الإنتاجية تمثل عنصرًا هامًا في إعداد القرارات المتعلقة بالإستثمارات، والتكوين، والتشغيل، والأسعار،

وغيرها من مجالات الحياة الاقتصادية والاجتماعية. أما بالنسبة للتعريف الثالث فيتعلق بتسوية المشاكل التقنية على مستوى المنظمة كتنظيم الإنتاج، والمخزونات، وتنظيم طرق العمل، وتحسين عمل مختلف الأقسام، وتوزيع العلاوات الجماعية والفردية وغيرها بهدف تحقيق الفعالية (بو خمخ، 2005: 110).

وأرى أن ربط مفهوم الكفاءة الإنتاجية بهذه التعاريف الثلاث يعتبر من الرؤى ذات البعد الإستراتيجي؛ الذي يثري مفهوم الكفاءة الإنتاجية ويوسعه بحيث يمتد ليشمل الجوانب التقنية جنباً إلى جنب مع الجوانب الاقتصادية؛ ناهيك أنه يمتد ليشمل الأبعاد الإستراتيجية للمنشآت. كما يذهب آخرون إلى أن الكفاءة الإنتاجية تتكون من جانبين أحدهما تنظيمي وهو حساب الكفاءة، والآخر تطبيقي يتعلق باستخدام نتائج القياس لأغراض التخطيط والمتابعة والتقييم (المصري، 2004: 12).

وينبغي أن نشير إلى حقيقة أساسية عند تعريف الكفاءة الإنتاجية؛ ألا وهي أن للكفاءة الإنتاجية شقين، شق كمي ويتمثل في كمية الإنتاج الذي تحصل عليه باستخدام موارد محددة، وشق كيفي يتمثل بالجودة والإتقان في الإنتاج (كاظم، 2008: 3). وهذا يعني أن الكفاءة الإنتاجية تتضمن زيادة كميات المخرجات من الإنتاج باستخدام الموارد المتاحة المحددة؛ بمعنى الإنتاج الأكبر بمرور أقل، مع التركيز على الجودة العالية للمنتج وفق المواصفات المحددة.

(ب) أهمية الكفاءة الإنتاجية:

لقد زاد الإهتمام بالكفاءة الإنتاجية بشكل كبير في السنوات الأخيرة، باعتبارها مؤشراً ومقياساً لمدى تقدم المجتمعات ورفاهيتها، حيث أخذت المجتمعات المختلفة بتوجيه اهتمامها وجهودها ومواردها بهدف رفع مستوى الكفاءة الإنتاجية لوحدها الاقتصادية المختلفة؛ لأن ذلك يعد من أهم مفاتيح النمو والتقدم الاقتصادي والاجتماعي.

وترجع أهمية الكفاءة الإنتاجية ورفع معدلاتها في الدول النامية بصفة أساسية إلى النمو المتزايد في احتياجات الأفراد الاقتصادية بدرجة أكبر بكثير من مواردها الإنتاجية المتاحة. وتعتبر الكفاءة الإنتاجية ذات أثر كبير في نجاح المشروعات التنموية، كما تعتبر من عناصر التقدم الاقتصادي لأي بلد من البلدان، وبالتالي فإن زيادة الكفاءة الإنتاجية تحقق أقصى الأرباح الممكنة لأصحاب الأعمال، كما أن زيادة الكفاءة الإنتاجية توفر السلع والخدمات التي يحتاجها المجتمع بأقل تكلفة ممكنة. وعلى ذلك يمكن أن نبين أهمية زيادة الكفاءة الإنتاجية على النحو الآتي:

1) أهمية الكفاءة الإنتاجية على مستوى الاقتصاد الوطني:

إذ تمثل زيادة الكفاءة الإنتاجية على مستوى الاقتصاد الوطني أهمية بالغة يمكن إجمالها في الآتي (السنفي والشامي، 2000: 57/56):

- 1- أن الكفاءة الإنتاجية المرتفعة تؤدي إلى انخفاض معدلات التضخم من خلال تخفيض التكلفة الإجمالية للمنتجات نتيجة لحسن استخدامها؛ الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض الأسعار والبعد عن الركود الاقتصادي.
- 2- كما أن الكفاءة الإنتاجية العالية تؤدي إلى تحقيق أفضل عائد لرأس المال وتحفيز الإستثمار طويل الأجل، الأمر الذي يؤدي إلى توسيع أنشطة المشاريع ونمو الاقتصاد، وتوفير المزيد من الأعمال وفرص العمل.
- 3- أضف إلى ذلك أن الكفاءة الإنتاجية العالية هي المحدد الرئيسي للمنافسة في الأسواق العالمية، الأمر الذي يؤدي إلى الحصول على المزيد من العملات الصعبة التي تمثل الركيزة الأساسية للمشاريع الاقتصادية في الدول النامية.
- 4- تتعكس دراسات الكفاءة الإنتاجية وتحديد معدلاتها على الربحية، وبالتالي على تكلفة المنتجات.

- 5- بالإضافة إلى ذلك فإن للكفاءة الإنتاجية العالمية أبعاداً أخرى كثيرة، فهي تمثل كفاءة الدولة بجميع أجهزتها ومؤسساتها في إنتاج السلع والخدمات والأفكار التي يتطلع إليها المجتمع، كما أنها تعتبر مؤشراً لمدى استغلال المجتمع لموارده المتاحة.
- إضافة إلى ذلك تحقق زيادة الكفاءة الإنتاجية على مستوى الإقتصاد الوطني الآتي (حمود وفاخوري، 2001: 66):
- 6- تحقيق الإستقلال الإقتصادي والذي يعد أحد عوامل الإستقلال السياسي.
- 7- توفير العملات الأجنبية عن طريق الإستخدام الأمثل للمواد الأولية والتي تدفع فيها الدولة أموالاً طائلة خصوصاً إذا كانت هذه المواد مستوردة.
- 8- زيادة الدخل القومي؛ والذي بدوره يؤدي إلى إرتفاع مستوى معيشة الأفراد وزيادة الرفاهية.
- وبالتالي فإن ما يتحقق من زيادة في الإنتاج نتيجة الزيادة في الكفاءة الإنتاجية، والتي يمكن أن ترافق زيادة الإنتاجية تضمن تحقيق النمو للإقتصاد ككل عن طريق ما تسهم به زيادة الإنتاجية هذه من زيادة في إنتاج الإقتصاد وتحقيق النمو فيه (محمود، 2008: 57).

2) أهمية الكفاءة الإنتاجية على مستوى المنشأة:-

إذ تعتبر الكفاءة الإنتاجية مؤشراً هاماً للحكم على مستوى كفاءة إدارة المنشأة، وكيفية إستغلالها للموارد المتاحة من أجل الحصول على أفضل النتائج، وعلى ذلك فإن زيادة الكفاءة الإنتاجية يعني إمكانية زيادة أجور العاملين، وإدخال التقنيات الفنية الحديثة لتطوير المنتج، ورفع المعدل المهاري للعمال؛ أي بمعنى محاولة الإدارة إستغلال الموارد المتاحة لها الإستغلال الجيد. وبالتالي تحقق زيادة الكفاءة الإنتاجية العديد من الفوائد على مستوى المنشأة، على النحو الآتي (حمود وفاخوري، 2001: 68):

- 1- تحقيق الأرباح وزيادة القدرة على الإستثمار بتمويل ذاتي.
 - 2- توسيع نطاق السوق عن طريق تقديم المزيد من السلع والخدمات.
 - 3- الإستخدام الكفء للطاقات الإنتاجية ومن ثم خلق فرص للتوظيف والتشغيل.
 - 4- زيادة مرتبات وأجور العمال، وبالتالي النهوض بمستوى المجتمع ككل.
- أضف إلى ذلك أن زيادة الكفاءة الإنتاجية تحقق للمنشأة (السني والشامي، 2000: 57):
- 5- كما تعتبر الكفاءة الإنتاجية وسيلة المنشأة لدخول مجالات عمل جديدة، فعند زيادة كفاءة الإدارة وارتفاع كفاءة العاملين وإنتاجيتهم، فإن ذلك يمكن المنشأة من إضافة خطوط إنتاج جديدة أو تنويع السلع والخدمات القائمة وتطويرها أو إضافة استخدامات جديدة لها.
- 6- وتتوقف أهمية الكفاءة الإنتاجية بالنسبة للمنشأة على طبيعة المستفيدين من زيادتها؛ فمثلاً أصحاب رأس المال والمستثمرين يرون أن زيادة الكفاءة الإنتاجية تؤدي إلى تخفيض تكلفة الوحدة من المنتج النهائي، وهذا يؤدي إلى زيادة صافي الربح وزيادة حصصهم منه. أما المديرون فينظرون إلى الكفاءة الإنتاجية وزيادتها في أن ذلك يؤدي إلى ارتفاع الأرباح، ونجاحهم في إدارة المنظمة وبكفاءة. أما العاملين فإن أهمية الكفاءة الإنتاجية بالنسبة لهم تتوقف على الإشباع الذي سوف يحصلون عليه من ذلك، سواء كان مادياً أو معنوياً

3) أهمية الكفاءة الإنتاجية على مستوى الفرد:

تعكس النتائج المترتبة على زيادة الكفاءة الإنتاجية مدى مساهمة الفرد في العمل الذي يؤديه، ومقدار الجهد والعرق الذي يبذله، بمعنى أن زيادة إنتاجية الفرد يعني زيادة مساهمته، وأهمية الدور الذي يلعبه في وظيفته، وإذا إنخفضت الإنتاجية كان ذلك دليلاً على

قلة مساهمته، وإنخفاض دوره وأدائه المكلف به. كما أن الفرد يجني ثمار زيادة إنتاجيته، فكلما إرتفعت الإنتاجية كلما إرتفع دخل الفرد، وكلما إرتفعت كذلك درجة تقدير رؤسائه له، وكلما إنخفضت إنتاجية الفرد فإن ذلك يعني نقصاً في الدخل، وبعضاً من الآثار النفسية الأخرى كعدم رضا رؤسائه عنه (بدر، 2016: 47).

(4) أهمية الكفاءة الإنتاجية على مستوى المجتمع:

تعتبر الكفاءة الإنتاجية من أهم المؤشرات للحكم على مدى رفاهية المجتمع، وذلك عن طريق ما تقدمه من سلع وخدمات لأفراد المجتمع من حيث الكمية، والجودة، ومدى مقابقتها لتوقعات المستهلكين، وتوقيت الوصول إليهم، هذا بالإضافة إلى أن إرتفاع الكفاءة الإنتاجية يعني إستغلال موارد المجتمع البشرية والمادية التي تتميز بالندرة النسبية. كما تعد الكفاءة الإنتاجية من المؤشرات الرئيسية في تنظيم حياة المجتمع، إضافة إلى أنها أداة مهمة في توزيع ثروة البلد على صعيدي الإنتاج وتوجيه الموارد (هنية، 2005: 74). وعليه نستطيع القول أن مؤشر الكفاءة الإنتاجية هو المصدر الحقيقي للنمو الإقتصادي، والرفاهية الإجتماعية، وتحسين مستوى المعيشة في أي بلد مهما كان نوع النشاط الإقتصادي. وأن معدلات نمو الكفاءة الإنتاجية وتحليل عناصرها تعطي نظرة فاحصة للنشاط الإقتصادي وتكشف نواحي الضعف والقوة في هذا النشاط؛ لهذا تتسابق الدول للمحافظة على استمرارية معدلات نمو متزايدة في الكفاءة الإنتاجية بإدخال التحسينات المستمرة في الجوانب التكنولوجية والإدارية والبشرية، وتمكنت الدول المتقدمة من خلال ذلك من تحقيق تقدم صناعي كبير مكنها من السيطرة والتحكم في الإقتصاد العالمي.

المبحث الثاني: تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها:

تعتمد الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد على مجموعة من الأدوات الرقمية المتكاملة التي تتيح التعاون بين الفرق المتعددة التخصصات منذ المراحل الأولى لتطوير المنتج؛ مما يسهم في تقليل الوقت والتكلفة وتحسين جودة المنتج. وتتميز هذه الأدوات بأنها تعمل ضمن بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد تتيح النمذجة، والمحاكاة، والتحليل الديناميكي، وتكامل البيانات طوال دورة حياة المنتج. ويُعد فهم هذه الأدوات والتقنيات شرطاً أساسياً لتقييم مدى فاعلية تطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تحسين الكفاءة الإنتاجية داخل المنشآت الصناعية، حيث تُشكل هذه الأدوات العمود الفقري للتكامل بين وظائف التصميم، والتحليل، والإنتاج، والتكلفة. لذا فإن هذا الجزء من البحث يسعى إلى إستعراض مفصل لأهم تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وتقنياتها، وتحليل دورها في دعم القرارات الإنتاجية، وتحقيق أهداف الجودة والكفاءة.

أهم تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها:

تعتمد منهجية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد على مجموعة من الأدوات والتقنيات الرقمية المتقدمة التي تمثل جوهر العمليات الهندسية المتزامنة، مثل التصميم بالحاسوب (CAD)، والتحليل الهندسي بالحاسوب (CAE)، والتصنيع بالحاسوب (CAM)، وإدارة دورة حياة المنتج (PLM)، والنمذجة الرقمية (DMU)، وغيرها. ويعد فهم هذه الأدوات وتكاملها ضرورة أساسية للمنشآت الصناعية الراغبة في تحسين كفاءتها الإنتاجية وتقليل التكاليف وتحقيق الجودة العالية في منتجاتها. وفيما يلي سيتم تناول أهم أدوات وتقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، مع شرح دور كل منها في دعم عمليات التصميم والتصنيع وتحقيق التميز التنافسي.

م	الأداة/ التقنية	المصطلح باللغة الإنجليزية	تعريفها	الفوائد المتحققة من إستخدامها
---	-----------------	---------------------------	---------	-------------------------------

1	التصميم باستخدام الحاسوب (CAD)	Computer Aided Design	تستخدم هذه التقنية لإنشاء وتعديل وتحليل وتوثيق التصميمات الهندسية باستخدام الحاسوب، وتسمح بإنشاء نماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد بدقة عالية. (2013،Zhou)	- تسريع تطوير النماذج. - تحسين جودة التصميم. - تسهيل التعديلات الفورية.
2	التحليل الهندسي باستخدام الحاسوب (CAE)	Computer Aided Engineering	هي مجموعة من أدوات التحليل الرقمي تشمل CAE و CFD و FEA وتستخدم لتقييم أداء التصميمات من حيث الإجهاد، الحرارة، المواع، والاهتزازات. (2005،Zeid)	- تقليل الحاجة للنماذج الفيزيائية. - لكشف المبكر عن الفشل المحتمل. - دعم اتخاذ القرار التصميمي.
3	التصنيع باستخدام الحاسوب (CAM)	Computer Aided Manufacturing	هي تقنية تستخدم لتحويل التصميمات الرقمية إلى أوامر تشغيل فعلية تُرسل إلى الآلات والمعدات الصناعية الأخرى. (2015،Groover)	- أتمتة عملية التصنيع. - تقليل الأخطاء البشرية. - زيادة الدقة والتكرار في الإنتاج.
4	إدارة دورة حياة المنتج PLM	Product Lifecycle Management	هو نظام متكامل لإدارة البيانات والمعلومات المتعلقة بالمنتج منذ المفهوم الأولي وحتى نهاية العمر شاملاً التصميم والتصنيع والخدمة. (2020،Stark)	- تسهيل التعاون بين الفرق. - تحسين التوثيق والرقابة. - دعم الابتكار والإمتثال التنظيمي.
5	النمذجة الرقمية للمنتج (DMU)	Digital Element Analysis	هي تقنية لعرض وتحليل النماذج ثلاثية الأبعاد الرقمية للمنتج بالكامل دون الحاجة إلى نموذج مادي، وتستخدم لفحص التركيب، والحركة والتدخلات، وسهولة الصيانة. (2001،Kahn)	- تقليل التكلفة والنماذج الفيزيائية. - تحسين الفهم البصري والتشغيلي. - تسهيل المشاركة بين الفرق الهندسية.
6	التحليل بالعناصر المحدودة (FEA)	Finite Element Analysis	تقنية عددية تستخدم لمحاكاة الاستجابات الفيزيائية للهياكل والمواد تحت تأثير أحمال أو ظروف تشغيل معينة، يتم فيه تقسيم الأجسام إلى شبكة من العناصر الصغيرة تُطبق عليها معادلات فيزيائية لتحليل الإجهاد، التشوه، الحرارة، والاهتزازات، وغيرها. (2002،Cook)	- تمكين التحليل المتزامن مع التصميم في بيئة رقمية واحدة. - تقليل عدد النماذج الفيزيائية والتجريبية. - تسريع اكتشاف الأخطاء وتقليل زمن تطوير المنتج.
7	ديناميكا الموائع الحسابية (CFD)	Computational Fluid Dynamics	فرع من ميكانيكا الموائع، يستخدم الطرق العددية والخوارزميات لتحليل وتفسير سلوك الموائع - السوائل والغازات- عند تفاعلها مع الأجسام أو داخل الأنظمة وذلك باستخدام محاكاة حاسوبية عالية الدقة. (2007،Versteeg & Malalasekera)	- إجراء تحليل تدفق السوائل والحرارة بالتزامن مع التصميم الميكانيكي. - تحسين التصميمات من حيث كفاءة التبريد، تقليل المرونة، وتوزيع الضغط. - تقليل التكلفة والوقت الناتجين عن التجريب الفيزيائي.
8	الطباعة ثلاثية الأبعاد	3D Printing	تُعرف أيضاً باسم التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing، وهي تقنية تصنيع تعتمد على إنشاء الأجسام طبقة تلو الأخرى باستخدام بيانات رقمية ثلاثية الأبعاد، وهي تعد جزءاً جوهرياً من أدوات الهندسة المتزامنة الحديثة. (2010،Chua & Lim)	- تسريع دورة تطوير المنتج عن طريق النمذجة الأولية السريعة مما يسمح باختبار التصميمات مبكراً ومزامنتها مع التحليل والتعديل - تعزيز التكامل بين CAD و CAM حيث ترسل الملفات الناتجة عنها مباشرة إلى الطابعات ثلاثية الأبعاد مما يختصر المراحل التقليدية ويتيح توازي العمليات. - يمكن إنتاج نماذج واقعية معقدة بسرعة ودقة مما يقلل الحاجة للقوالب أو أدوات التصنيع التقليدي مما يعني تحسين الكفاءة الإنتاجية. - تستخدم لإنتاج نماذج مخصصة بسرعة دون التأثير على جدول الإنتاج العام. (Gibson & Stucker 2021)

جدول رقم (1) - أهم أدوات وتقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد

من خلال العرض السابق لأهم تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها نجد أن؛ تحليلها يكشف عن مدى الأثر العميق الذي أحدثته هذه الأدوات في تحسين الأداء الصناعي لاسيما في مراحل تطوير وتصميم المنتجات، فهذه الأدوات لا تعمل بشكل منفصل بل تتكامل ضمن بيئة رقمية مترابطة تهدف إلى تقليل الفاقد الزمني، وتحسين جودة المنتج، وخفض التكاليف، وتسريع الإستجابة لإحتياجات السوق.

فقد أسهم استخدام تقنيات مثل CAE / CAM / CAD بشكل مباشر في رفع كفاءة سلاسل الإمداد، وتحقيق وفورات تشغيلية معتبرة. حيث أن الهندسة المتزامنة المدعومة بتكامل أدوات التصميم والتحليل والتصنيع تعزز من الاستجابة السريعة لتغييرات التصميم، وتقلل من دورات التطوير بنسبة تصل إلى 30%. (Kusiak & Sons، 1994)
أما أنظمة PLM فقد أتاحت بيئة موحدة لإدارة المعرفة عبر دورة حياة المنتج؛ مما ساعد المنشآت الصناعية على تجنب الازدواجية، وتحقيق الرقابة في إتخاذ القرارات. حيث أن PLM تمثل الرابط الإستراتيجي بين التصميم والإنتاج والتسويق، ويمثل جوهر تكامل نظم الهندسة الرقمية في المنشآت الحديثة (Stark، 2020).

كذلك تمثل أداة DMU مرحلة متقدمة من المحاكاة ثلاثية الأبعاد، تمكن الفرق الفنية من التفاعل الافتراضي مع المنتج في بيئة رقمية؛ مما يقلل من الحاجة إلى النماذج الفيزيائية، ويخفض التكاليف بنسبة ملحوظة (Jiang & Xu، 2014). ولعل الأهمية الكبرى تكمن في أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد لم تعد خيارًا تكنولوجيًا فحسب، بل إستراتيجية إنتاجية تؤثر في صلب الكفاءة التصنيعية. فالبيان أن المنشآت التي تطبق هذه الأدوات المتكاملة تحقق نسب تحسن في الكفاءة الإنتاجية تتراوح بين 20% إلى 45% مقارنة بالمنشآت التي تعتمد على الأساليب التقليدية (Dongre، 2017).

وعليه؛ فإن هذه الأدوات تعد محركًا أساسيًا في دعم التصنيع الذكي، وتمثل الأساس لتطبيقات الثورة الصناعية الرابعة، مما يجعل من الضروري أن يتم تضمينها ضمن السياسات الصناعية الوطنية، وخاصة في الدول النامية، التي تسعى إلى تحسين الناتج المحلي، وزيادة تنافسية قطاعها الصناعي

آليات التكامل بين أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وسلاسل القيمة الصناعية:

شهد القطاع الصناعي تحولات جذرية نتيجة التطورات التكنولوجية المتسارعة، وبرزت الحاجة إلى تبني منهجيات متكاملة تعزز الأداء، وتخفض الهدر، وتحسن جودة المنتج. ومن بين أبرز هذه المنهجيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد؛ التي تعتمد على أدوات رقمية متقدمة، والتي تتكامل بدورها مع مراحل سلاسل القيمة الصناعية؛ إذ يعد هذا التكامل أداة إستراتيجية لرفع الكفاءة الإنتاجية، وتسريع دورة حياة المنتج، وتحقيق ميزة تنافسية.

ويقصد بسلسلة القيمة الصناعية الإطار الذي يصف كيفية تحويل المواد الخام إلى منتج نهائي من خلال سلسلة من الأنشطة المترابطة وهي: التصميم، والتصنيع، والتسويق، والتوزيع، وخدمات ما بعد البيع (Porter، 1985). وتعتمد المنافسة في العصر الحديث على تكامل هذه الأنشطة بإستخدام أدوات رقمية ذكية. وبالتالي فإن الربط الفعال بين هذه الأدوات وسلسلة القيمة الصناعية بدءً من تطوير المفهوم والتصميم وحتى مرحلة التسويق وما بعد البيع؛ يخلق تدفقًا معلوماتيًا متكاملًا يسهم في إتخاذ قرارات دقيقة وسريعة وفعالة، ويعزز من القدرة التنافسية للمنشآت الصناعية في الأسواق المحلية والعالمية.

وفي هذا السياق؛ تُعد دراسة آليات هذا التكامل أمراً جوهرياً لفهم كيف يمكن أن تُسهم الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تحقيق التحول الرقمي الصناعي، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتحقيق تحسين ملموس في الأداء التشغيلي للمنشآت الصناعية. وبيان ذلك على النحو الآتي:

(1) التكامل بين التصميم والتصنيع: يعد التكامل بين التصميم بمساعدة الحاسوب CAD والتصنيع بمساعدة الحاسوب CAM من الركائز الأساسية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد. حيث يسمح هذا التكامل بنقل بيانات التصميم مباشرة إلى عمليات التصنيع؛ مما يقلل من الأخطاء. ويسرّع من دورة الإنتاج. كما أن هذا التكامل يسهم في تحسين جودة المنتج من خلال تقليل التعديلات المتكررة وزيادة دقة التصنيع (الكواز، 2020: 169).

(2) التكامل بين التصميم والتحليل الهندسي: يتيح التكامل بين CAD والتحليل الهندسي بمساعدة الحاسوب CAE إمكانية تقييم أداء المنتج في مراحل مبكرة من التصميم؛ مما يقلل من الحاجة إلى النماذج الأولية المادية، ويسرّع من عملية التطوير. حيث أن هذا التكامل يسهم في تحسين جودة المنتج، وتقليل التكاليف من خلال الكشف المبكر عن المشكلات التصميمية (الأسدي، 2020: 123).

(3) إدارة دورة حياة المنتج (PLM) كأداة تكاملية: تعتبر إدارة دورة حياة المنتج PLM منصة مركزية تُنسّق بين مختلف أدوات الهندسة المتزامنة؛ مما يُسهم في تحسين التواصل بين الفرق المختلفة، وتقليل زمن تطوير المنتج. حيث أن استخدام PLM يعزز من القدرة التنافسية للمنشآت الصناعية من خلال تحسين جودة المنتجات، وتقليل التكاليف (الراوي، 2023: 249).

(4) النمذجة الرقمية للمنتج (DMU) وتحسين سلسلة القيمة الصناعية: تُتيح النمذجة الرقمية للمنتج DMU إمكانية تصور المنتج بشكل ثلاثي الأبعاد، وتحليل تفاعلاته مع مكونات النظام الأخرى؛ مما يُسهم في تحسين تصميم المنتج وتقليل الأخطاء. لذا فإن استخدام DMU يُعزز من القدرة التنافسية للمنشآت من خلال تحسين جودة المنتجات وتقليل زمن تطويرها (حميدة، 2015: 144).

(5) التكامل مع سلسلة التوريد والتصنيع المستدام: يُسهم التكامل بين أدوات الهندسة المتزامنة وسلسلة التوريد في تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف. وهذا التكامل يعزز من الإستدامة في التصنيع من خلال تحسين جودة المنتجات وتقليل الفاقد (الراوي، 2023: 246).

أثر تكامل أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مع سلاسل القيمة الصناعية على الكفاءة الإنتاجية: في ظل التغيرات المتسارعة في بيئة الأعمال الصناعية، لم تعد المنشآت قادرة على تحقيق الميزة التنافسية وتحسين كفاءتها الإنتاجية بالإعتماد على نماذج الإنتاج التقليدية، بل أصبح من الضروري دمج الابتكار التقني ضمن سلسلة القيمة الكاملة. حيث تسهم الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد من خلال أدواتها مثل: CAD، CAM، CAE، PLM، DMU في دعم التكامل الفعال بين مراحل التصميم، والتخطيط، والإنتاج، والخدمات اللوجستية.

ومن هذا المنطلق؛ وحيث أن الكفاءة الإنتاجية تتحقق عندما تستخدم الموارد (الوقت، المواد، العمالة) بأعلى درجة من الفعالية؛ فإن فهم آليات التكامل بين هذه الأدوات وسلسلة القيمة الصناعية يُشكل ضرورة استراتيجية لتعزيز الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية، وتحقيق خفض في التكاليف، إضافة إلى تحسين المنتج. وهذا ما سنعمل على توضيحه في النقاط الآتية. إذ يؤدي تكامل أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مع سلاسل القيمة الصناعية إلى تحسين الكفاءة الإنتاجية من خلال الآتي:-

- (1) **تقليل زمن تطوير المنتج:** يساهم التكامل بين CAD و CAM و CAE في تسريع عمليات التصميم والتحليل والتصنيع؛ مما يقلل من زمن تطوير المنتج. فقد أشارت دراسة الراوي (2023) إلى أن تطبيق الهندسة المتزامنة في ظل استراتيجية التصنيع المتكامل يؤدي إلى تقليل زمن تطوير المنتج بنسبة تصل إلى 30% (الراوي، 2023: 255).
 - (2) **تحسين جودة المنتج:** يساعد استخدام CAE و DMU في إكتشاف المشكلات التصميمية مبكرًا؛ مما يؤدي إلى تحسين جودة المنتج النهائي. فقد أكدت دراسة الكواز وعلي (2020) أن تطبيق تقنية الهندسة المتزامنة يساهم في تحسين جودة المنتج من خلال التركيز على متطلبات الزمن، وتطبيق أدوات مثل التصميم للتجميع والتصنيع (الكواز، 2020: 168).
 - (3) **خفض التكاليف وتحقيق المزايا التنافسية:** يساهم التكامل بين أدوات الهندسة المتزامنة و PLM في تقليل التكاليف من خلال تحسين إدارة البيانات، وتسهيل التعاون بين الأقسام. فقد أشارت دراسة الأسدي (2020) إلى أن التكامل بين الهندسة المتزامنة ومعايير الإستدامة يساهم في تخفيض التكاليف وتحقيق مزايا تنافسية (الأسدي، 2020: 109).
 - (4) **تعزيز الاستدامة:** يساعد استخدام أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تصميم منتجات صديقة للبيئة، وتحسين إدارة سلسلة التوريد؛ مما يعزز من استدامة العمليات الصناعية. فقد أوضحت دراسة نور الدين (2020) أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تؤثر إيجابيًا على التصنيع المستدام من خلال تحسين تصميم المنتجات والعمليات وسلسلة التوريد (نور الدين، 2020: 55).
 - (5) **تقليص زمن دورة الإنتاج الكاملة:** تمكن بيانات PLM من التخطيط الدقيق للموارد والطلب. كما يعزز التكامل مع ERP من التحكم في التكاليف والمخزون؛ الأمر الذي يوصلنا إلى تحقيق تقليص زمن دورة الإنتاج الكاملة (نور الدين، 2020: 55).
- ومن خلال ما سبق؛ نستخلص أثر التكامل بين تقنيات وأدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مع سلسلة القيمة الصناعية على الكفاءة الإنتاجية في الجدول الآتي:

مرحلة التكامل	آلية التكامل	أثر التكامل على الكفاءة الإنتاجية
التكامل في مرحلة التصميم	تمكن أدوات CAD و DMU الفرق الهندسية من التعاون على نموذج واحد مما يقلل من الزمن المطلوب للتصميم. كما تسمح أدوات CAE باختبار النموذج الافتراضي وتحسينه.	➤ تقليل زمن التطوير. ➤ تحسين جودة المنتج من أول مرة
التكامل في مرحلة التصنيع	حيث يتم باستخدام CAM تحويل نماذج CAD مباشرة إلى تعليمات للماكينات مما يقلل من الخطأ اليدوي. ثم يتم ربط التصنيع بخطة الإنتاج ومتطلبات السوق عن طريق PLM.	➤ تقليل التالف من الإنتاج. ➤ تقليل التكاليف التشغيلية.
التكامل في اللوجستيات والتوزيع	تمكن بيانات PLM من التخطيط الدقيق للموارد والطلب. كما يعزز التكامل مع ERP من التحكم في التكاليف والمخزون.	➤ تقليص زمن دورة الإنتاج الكاملة.
التكامل في خدمة ما بعد البيع	من خلال نماذج DMU و PLM يمكن توفير أدلة صيانة رقمية ومحاكاة لتدريب الفنيين والتي بدورها تعمل على تقليل زمن الإصلاح وتحسين رضا العميل.	➤ زيادة المرونة والاستجابة للسوق.

جدول رقم (2) - أثر آليات التكامل بين أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مع سلسلة القيمة الصناعية على الكفاءة الإنتاجية

وبما أن الكفاءة الإنتاجية تتحقق عندما تُستخدم الموارد (الوقت، المواد، العمالة) بأعلى درجة من الفعالية. وكانت آليات التكامل بين أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مع سلسلة القيمة قد حققت تقليل زمن التطوير، وتحسين جودة المنتج، وتقليل الفاقد والتالف من الإنتاج، وكذلك تخفيض التكاليف التشغيلية، وتقليص زمن دورة الإنتاج الكلية، إضافة إلى زيادة المرونة والاستجابة

للسوق؛ فإننا نحصل إلى نتيجة مفادها أن تقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد بجميع ما تحتويه تمثل أثرها ودورها في تحسين الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية التي طبقت هذا النهج في عملياتها الصناعية.

التحديات التي تواجه المنشآت الصناعية في تطبيق تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها: على الرغم من الإمكانيات الكبيرة التي توفرها تقنيات وأدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في دعم العمليات الصناعية، وتحقيق التكامل بين مراحل التصميم والإنتاج، إلا أن تطبيقها يواجه العديد من التحديات في البيئات الصناعية، خصوصاً في الدول النامية. وتُعد هذه التحديات نتيجة لعوامل تقنية، وبشرية، وتنظيمية، ومالية؛ مما يؤثر سلباً على فعالية تطبيق هذا النهج، ويؤخر من تحقيق أهدافه المرتبطة بتحسين الكفاءة الإنتاجية.

وعليه؛ فإن فهم هذه التحديات وتحليلها يمثل خطوة أساسية نحو بناء بيئة صناعية قادرة على الاستفادة القصوى من الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد. وفيما يلي أهم التحديات التي نرى أنها قد تواجه المنشآت الصناعية عند تطبيقها لتقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها، وذلك على النحو الآتي:

1- **تجزئة العمليات وضعف التكامل بين الفرق متعددة التخصصات:** يُعد غياب التنسيق بين فرق التصميم، والهندسة، والتصنيع، والمشتريات من أكثر العوائق شيوعاً، حيث تعمل كل جهة ضمن منظومة منعزلة؛ يؤدي ذلك إلى تكرار العمل، وتأخر اكتشاف التعارضات التصميمية، وزيادة زمن الدورة وتكاليف التطوير (McCord، 1993).

2- **نقص الكفاءات البشرية المدربة على أدوات التصنيع الرقمي الإضافي:** غالباً ما تفتقر المنشآت إلى مهندسين مدربين على استخدام أدوات مثل CAD، CAE، CAM خصوصاً فيما يتعلق بتقنيات التصنيع الإضافي؛ مما يعوق الاستفادة من قدراتها (Singh، 2020). كما أن ضعف التأهيل التقني للعاملين في استخدام أدوات مثل PLM و DMU يؤدي إلى إعاقة التكامل بين مراحل التصميم والإنتاج، وهو ما ينعكس سلباً على الإنتاجية وجودة المنتج (الراوي، 2023: 251).

3- **ضعف البنية التحتية الرقمية والبرمجية:** يُعد غياب أو ضعف البنية التحتية التكنولوجية أحد أبرز العوائق أمام دمج أدوات الهندسة المتزامنة مع أنظمة الإنتاج، فالعديد من المنشآت خاصة في الدول النامية لا تمتلك أنظمة رقمية مترابطة أو قاعدة بيانات موحدة تربط بين مراحل التصميم والتصنيع (الكواز، 2020: 170).

4- **صعوبات دمج نماذج CAD مع تخطيط الإنتاج والتجميع:** رغم قدرة أدوات CAD على تصميم نماذج ثلاثية الأبعاد معقدة، إلا أن الربط بينها وبين أنظمة تخطيط الإنتاج، مثل: ERP، MES يتطلب تحويلات وتوافق بين البيانات الهندسية والبيانات التصنيعية وهو أمر تقني صعب (Kang & Peng، 2014).

5- **محدودية التوافقية بين المنصات الرقمية المختلفة:** عدم وجود بروتوكولات قياسية لتبادل البيانات بين الأنظمة، مثل: CATIA و SolidWorks و NX و Windchill يؤدي إلى تعارضات في الصيغ والامتدادات، مما يقلل كفاءة التكامل، ويزيد الاعتماد على عمليات تحويل غير دقيقة (Mourtzis، 2016).

6- **التحديات التقنية في الطباعة ثلاثية الأبعاد:** تواجه تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد تحديات تقنية، مثل: التحكم في جودة المواد، والتشوهات الناتجة عن التبريد غير المتساوي، وصعوبة تحقيق الدقة المطلوبة في الأبعاد، وهذه التحديات تؤثر سلباً على جودة المنتجات النهائية (Chung، 2022).

7- مقاومة التغيير التنظيمي والثقافي: غالبًا ما تقاوم المنشآت الصناعية التغيير التنظيمي المطلوب لتطبيق الهندسة المتزامنة، وذلك نتيجة التمسك بالأساليب التقليدية في التصميم والإنتاج، وعدم وضوح الجدوى الاقتصادية لتبني أنظمة جديدة (فتيح، 2017: 166).

8- ارتفاع تكاليف تطبيق الأنظمة المتقدمة: يتطلب تطبيق أدوات ثلاثية الأبعاد مثل: CAD و PLM وأنظمة التكامل الرقمي استثمارات أولية مرتفعة في البرمجيات، والتدريب، والتحديث الهيكلي للمنظومة الصناعية؛ مما يجعل المنشآت الصغيرة والمتوسطة تتردد في تبني هذه النماذج (الأسدي، 2020: 17).

يتضح لنا بعد إستعراض التحديات المرتبطة بتطبيق أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وتقنياتها؛ أن هذه التحديات لا تقتصر على الجوانب التقنية فقط، بل تمتد لتشمل الأبعاد البشرية، والتنظيمية، والهيكلية داخل المنشآت الصناعية. وتنعكس هذه التحديات بشكل مباشر على فعالية التكامل بين التصميم والتحليل والتصنيع؛ ما يؤدي إلى فجوات في سلسلة القيمة، وفقدان تحسين الكفاءة الإنتاجية. في ضوء هذه التحديات تتطلب الاستجابة لها نهجًا شاملاً لا يركز فقط على الحلول التكنولوجية، بل يشمل أيضًا إعادة هيكلة العمليات التنظيمية، وتطوير السياسات التي تدعم التعاون الرقمي والتحول نحو ثقافة الابتكار.

الحلول المقترحة لتجاوز هذه التحديات:

انطلاقًا من التحديات المتعددة التي تعيق تبني الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في القطاعات الصناعية، يصبح من الضروري البحث عن حلول استراتيجية وتطبيقية تُساهم في تهيئة بيئة داعمة لنجاح هذه التقنيات. وتتطلب هذه الحلول مقاربة شاملة تأخذ في الاعتبار مختلف أبعاد العمل الصناعي بما في ذلك تنمية القدرات البشرية، وتحديث البنية التحتية الرقمية، وتعزيز ثقافة التعاون بين فقر العمل. وفيما يلي عرض لأبرز الحلول المقترحة لتجاوز التحديات التي تواجه المنشآت الصناعية في تطبيقها لتقنيات الهندسة المتزامنة وأدواتها، وتحقيق الأثر المرجو من تطبيقها؛ وذلك على النحو الآتي:

1- تطوير نظم PLM وتكامل البيانات: يُمثل تطوير أنظمة إدارة دورة حياة المنتج PLM حلاً محوريًا لتوحيد البيانات عبر مراحل التصميم والتصنيع والدعم الفني، بما يسهل التعاون بين الفرق المختلفة (Stark, 2020). كما يمكن تعزيز تدفق البيانات بين أقسام التصميم والإنتاج وتقليل الفاقد والزمن من خلال بناء قواعد بيانات موحدة، واستخدام منصات رقمية شاملة مثل 3DEXPERIENCE أو Windchill أو غيرها (داوود، 2016: 19)، وهذا بدوره يقلل من التكرار، ويسرع دورات الإنتاج.

2- تطوير برامج التدريب التخصصي وبناء القدرات الفنية للعاملين: إن الاهتمام بالاستثمار في تدريب الموظفين على أدوات التصميم والتحليل والتصنيع يضمن الاستخدام الأمثل لهذه التقنيات (فتيح، 2017). كما يعد إنشاء وحدات تدريبية موجهة لمهندسي التصنيع على أدوات الهندسة المتزامنة ضروري لتجاوز الفجوة المعرفية التقنية (Ford & Mortara, 2019).

3- تطوير منهجيات التصميم المستدام والمبكر: يعزز دمج الإستدامة ضمن مراحل التصميم المبكر قدرة المنشأة على التحكم في التكلفة، وتحقيق رضا العملاء. كما تتيح أدوات DMU و PLM تتبع دورة حياة المنتج وتحليل تأثيراته (الراوي، 2023).

4- التحول نحو فرق العمل متعددة التخصصات: يتطلب تطبيق الهندسة المتزامنة إشراك أقسام التصميم، والإنتاج، والتسويق، والخدمة معًا في وقت مبكر؛ مما يعزز الابتكار، ويقلل التعديلات اللاحقة (الكواز، 2020).

5- استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي للتكامل التلقائي: يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي تحسين جودة الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال التنبؤ بالأخطاء وتصحيحها في الوقت الحقيقي، وبالتالي فإن استخدام التعلم المعزز يمكن أن يقلل من العيوب ويحسن من جودة المنتجات (Chung، 2022).

6- التدرج في التطبيق وتقييم الجدوى الاقتصادية: توصي العديد من الدراسات بالبدء في مشروعات تجريبية صغيرة لتطبيق أدوات الهندسة المتزامنة، وتقييم نتائجها قبل التوسع الكامل؛ مما يقلل المخاطر المالية والتنظيمية (الأسدي، 2020). في المحصلة؛ فإن تجاوز التحديات المتعلقة بتكامل أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد مع سلاسل القيمة الصناعية يتطلب رؤية إستراتيجية شاملة، تستند إلى التمكين الرقمي، وإدارة التغيير، والاستثمار في البيئة البشرية والتقنية؛ لضمان تحسين الكفاءة الإنتاجية، واستدامة الأداء الصناعي في ظل متغيرات البيئة التكنولوجية الحديثة.

المبحث الثالث: تطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تحسين الكفاءة الإنتاجية (دراسات تطبيقية عالمية وعربية)

يُعد تطوير القطاع الصناعي ركيزة أساسية في تحقيق النمو الاقتصادي المستدام، الذي يمثل أحد المحركات الرئيسية للناتج المحلي الإجمالي، وزيادة الصادرات، وتوفير فرص العمل. وتسهم الصناعة التحويلية خصوصاً في خلق القيمة المضافة من خلال تحويل المواد الأولية إلى منتجات قابلة للتسويق محلياً ودولياً؛ مما يعزز الميزان التجاري، ويرفع الدخل القومي. وتشير دراسات البنك الدولي إلى أن كل 1% نمو في التصنيع يؤدي إلى زيادة بنحو 0.3 - 0.4% في الناتج المحلي الإجمالي في الدول النامية (World Bank، 2020). كما يؤكد صندوق النقد الدولي أن تنويع القاعدة الإنتاجية، وتقليل الاعتماد على القطاعات الريعية كالنفط، والخدمات يرفع مناعة الاقتصاد الوطني ضد التقلبات الخارجية (IMF، 2021).

وتلعب التقنيات الحديثة؛ وفي مقدمتها الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد دوراً محورياً في إحداث تحول نوعي في القطاع الصناعي من خلال تقليص الفجوة بين مراحل التصميم، والهندسة، والإنتاج. كما تتيح هذه التقنية تكاملاً رقمياً فورياً بين الفرق الهندسية المختلفة؛ مما يقلل من زمن تطوير المنتج، ويحد من الأخطاء، ويرفع من جودة المنتجات. علاوة على ذلك؛ فإن هذه التقنيات والمنهجيات تعزز الابتكار الصناعي، وتسرع إدخال المنتجات إلى الأسواق؛ مما يمنح الشركات الصناعية ميزة تنافسية قوية، ويسهم في رفع مساهمة القطاع الصناعي في الناتج المحلي الإجمالي (UNIDO، 2022).

ولما كانت هذه التقنية على هذا القدر من الأهمية في تطوير القطاع الصناعي بمجالاته المختلفة؛ قامت العديد من الشركات الصناعية بقطاعاتها المختلفة على المستوى العالمي والعربي بتطبيقها في العديد من المنشآت الصناعية لما لها من نتائج إيجابية وفعالة في تحسين ورفع مستوى كفاءتها الإنتاجية على جميع الأصعدة. ولبيان ذلك سنعرض العديد من تطبيقات لشركات عالمية وعربية لتقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد بغرض رفع كفاءتها الإنتاجية وتعزيز قدرتها التنافسية، وسنعرض كذلك نتائج هذه التطبيقات للشركات المختلفة، ومن ثم سنقوم بتحليل هذه النتائج واستخلاص الاستنتاجات التي تحقق أهداف هذا البحث. وبيان تلك التطبيقات ونتائجها سنوردها على النحو الآتي:

أولاً: تطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في شركات عالمية:

في ظل التحولات السريعة التي يشهدها القطاع الصناعي العالمي، تبنت العديد من الشركات العالمية الرائدة استراتيجيات وتقنيات متقدمة لتحسين الكفاءة الإنتاجية، وتعزيز قدرتها التنافسية. وتُعد الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد من أبرز هذه الأدوات. حيث

ساهمت في إحداث نقلة نوعية في عمليات التصميم، والتطوير، والتصنيع، من خلال تكاملها مع مفاهيم إدارة دورة حياة المنتج (PLM) وسلاسل القيمة الصناعية. وقد جسدت عدة شركات صناعية عالمية كبرى هذا التوجه عبر تطبيقات متقدمة ساهمت في خفض التكاليف، وتقليل زمن تطوير المنتج، وتحقيق مستويات عالية من الجودة. وفيما يلي عرض لمجموعة من تلك الشركات العالمية التي طبقت الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، ومع بيان دورها في تحقيق النتائج المتحققة، على النحو الآتي:

م	الشركة	القطاع	الدولة	نوع التحسين / التطبيق	نسبة التحسين / النتائج
1	شركة تويوتا Toyota	صناعة السيارات	اليابان	استخدمت تقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد لتقليل دورة تطوير الطرازات الجديدة بالتعاون الفوري بين فرق التصميم والهندسة والإنتاج (Toyota Motor Corp)، (2020).	■ تقليل دورة التطوير بنسبة 30% ■ تقليل العيوب الأولية بنسبة 20%.
2	شركة بوينغ Boeing	صناعة الطائرات	الولايات المتحدة الأمريكية	استخدمت نمذجة 3D متزامنة في تطوير طائرات 787 لتنسيق آلاف الفرق حول العالم (Boeing)، (2019).	■ تقليل زمن تطوير النموذج الأولي بنسبة 50%. ■ خفض تكاليف التعديلات الهندسية بنسبة 30%.
3	شركة إيرباص Airbus	صناعة الطائرات	أوروبا	استخدمت منصة 3DEXPERIENCE لنمذجة جميع أجزاء A350 وتكامل الإنتاج عالمياً (Dassault Systems)، (2020).	■ تقليل زمن التجميع النهائي بنسبة 30%. ■ تقليل الفاقد في المواد بنسبة 15%.
4	شركة POSCO	الحديد والصلب	كوريا الجنوبية	دمجت نماذج ثلاثية الأبعاد في تحسين تصميم الأفران وأنظمة النقل ضمن هندسة متزامنة (POSCO)، (2018).	■ تحسين الطاقة الإنتاجية بنسبة 12%. ■ خفض الأعطال المفاجئة بنسبة 20%.
5	شركة Lafarge Holcim	الإسمنت	سويسرا	استخدمت الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تخطيط المنشآت الجديدة وربط التصميم بالتصنيع والتشغيل (Hoicim)، (2020).	■ تقليل زمن بدء التشغيل بنسبة 25%. ■ تحسين إستغلال الطاقة بنسبة 10%.
6	شركة Apple	الحواسيب والهواتف	الولايات المتحدة الأمريكية	تطوير أجهزة Mac و iPhone باستخدام PLM و 3D simulation بشكل متزامن بين فرق التصميم والإنتاج في أمريكا وآسيا (Apple Inc)، (2020).	■ تقليل زمن طرح المنتجات بنسبة 25%. ■ تقليل تكاليف النموذج الأولي بنسبة 20%.
7	شركة Dell Technologies	الحواسيب	الولايات المتحدة الأمريكية	استخدام أدوات هندسة رقمية متزامنة في تطوير الخوادم والأجهزة المحمولة (Dell Technologies)، (2021).	■ تقليل زمن التصميم الهندسي بنسبة 22%.
8	شركة Samsung Electronics	الإلكترونيات	كوريا الجنوبية	استخدام نمذجة ثلاثية الأبعاد متزامنة لتطوير الهواتف الذكية وشاشات OLED بالتكامل بين فرق التصميم والإنتاج (Samsung Electronics)، (2021).	■ تقليل زمن تطوير المنتج بنسبة 30%. ■ تقليل العيوب الفنية في النماذج الأولية بنسبة 25%.
9	شركة LG Electronics	الإلكترونيات	كوريا الجنوبية	تطوير الأجهزة المنزلية والإلكترونية باستخدام PLM ونمذجة متزامنة (LG Electronics)، (2022).	■ خفض زمن التصميم والإنتاج بنسبة 35%.
10	شركة Intel Corporation	الإلكترونيات	الولايات المتحدة الأمريكية	اعتماد نمذجة متزامنة ثلاثية الأبعاد في تطوير المعالجات الدقيقة وتصميم خطوط التجميع الدقيقة (Intel)، (2021).	■ تسريع إعداد خط الإنتاج بنسبة 28%. ■ تقليل التعديلات الهندسية بنسبة 22%.

11	شركة BASF للبتر وكيمياويات وكيمياويات الطلاء	الطلاء والكيمياويات	ألمانيا	استخدمت أدوات PLM ونمذجة ثلاثية الأبعاد لتصميم الإنتاج والتوسعات بطريقة متزامنة (BASF)، (2020).	- تقليل وقت وإنشاء الوحدات الجديدة بنسبة 35%. - تحسين الكفاءة التشغيلية بنسبة 20%.
12	شركة Dow Chemical للبتر وكيمياويات والطلاء الصناعي	الطلاء والكيمياويات	الولايات المتحدة الأمريكية	دمجت هندسة متزامنة مع محاكاة ثلاثية الأبعاد لتسريع تطوير خطوط إنتاج المواد المتخصصة (Dow)، (2021).	- خفض التكاليف الهندسية بنسبة 18%. - تقليل زمن التعديل والتجريب بنسبة 25%.
13	شركة AKZO Nobel لتصنيع الطلاء والمواد الكيماوية	الطلاء والكيمياويات	هولندا	استخدمت أدوات CAD 3D والهندسة المتزامنة لتطوير خطوط إنتاج الدهانات الذكية (AKZO Nobel)، (2021).	- تسريع إطلاق المنتجات الجديدة بنسبة 30% في الزمن. - تقليل الفاقد في الخلط والمعالجة بنسبة 15%.
14	شركة Nestle للتصنيع الغذائي	التصنيع الغذائي	سويسرا	استخدمت الهندسة المتزامنة مع أدوات CAD ثلاثية الأبعاد لتطوير خطوط إنتاج جديدة للأطعمة المعلبة والمشروبات (Nestle)، (2021).	- تقليل زمن التصميم والاختبار بنسبة 40%. - تحسين السلامة الصناعية.
15	شركة Nestle Water	المياه	سويسرا	طبقت الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تصميم مصانع زجاجات المياه مثل (Pellegrino – San – Perrier) (Neastle)، (2021).	- تسريع عمليات تصميم وإنشاء خطوط الإنتاج الجديدة بنسبة 30%. - تقليل الهدر في البلاستيك بنسبة 12%.
16	شركة Danone Waters	المياه	فرنسا	استخدمت أدوات 3D & CAD & PLM لتطوير خطوط التعبئة بشكل متكامل مع التصميم والصيانة (Danone)، (2020).	- تقليل زمن إعداد خطوط الإنتاج بنسبة 25%. - تحسين استهلاك الطاقة بنسبة 15%.

جدول رقم (3) - تطبيقات لشركات عالمية لتقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد والنتائج المتحققة من تطبيقها

إن تطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في كبرى الشركات الصناعية العالمية - كما هو وارد في الجدول السابق - تعكس بوضوح الأثر العميق لهذه المنهجية في تحقيق الكفاءة الإنتاجية وتعزيز التنافسية في أسواق ديناميكية. هذه التجارب تؤكد أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد ليست فقط تقنية، بل تمثل تحولاً إدارياً وثقافياً في إدارة سلسلة القيمة الصناعية. فهي تُسهم في تحقيق ما يعرف بـ "تصميم بجودة أول مرة" (Design Right First Time)، وتقليل الهدر، وتحقيق التميز التشغيلي (Mourteis، 2012). كما تدعم هذه المنهجية التحول الرقمي في التصنيع، وتمهد لتكامل أكثر عمقاً مع مفاهيم الصناعة 4.0، مثل التصنيع الذكي، والتحليلات التنبؤية، مما يفتح آفاقاً واسعة للابتكار والتخصيص في الإنتاج (Stark، 2020). ومقارنة بالدول النامية؛ فإن التحدي الأكبر يتمثل في تهيئة البيئة المؤسسية، والبنية التحتية التقنية، والكوادر البشرية، مما يجعل الاستفادة من هذه النماذج العالمية مرهونة بقدرة المنشآت على التكيف، والتعلم المؤسسي، والاستثمار في التكنولوجيا والمعرفة.

ثانياً: تطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في شركات عربية:

في السنوات الأخيرة؛ بدأت العديد من الشركات الصناعية العربية في مواكبة التطورات التكنولوجية العالمية عبر تبني مفاهيم الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد كأداة استراتيجية لتحسين الأداء التشغيلي، ورفع الكفاءة الإنتاجية. وقد تزايد الاهتمام بهذا التوجه في ضوء التحديات التي تواجه الصناعات العربية، مثل الحاجة لتقليص زمن دورة الإنتاج، وتعزيز جودة المنتجات، وتحسين

رضا العملاء . وقد طبقت شركات عربية كبرى نماذج متقدمة للهندسة المتزامنة، مما وفر لها مزايا تنافسية ملموسة على المستويين المحلي والإقليمي. وفيما يلي عرض لعدد من الشركات الصناعية العربية التي طبقت الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد، وذلك على النحو الآتي:

م	الشركة	القطاع	الدولة	نوع التحسين / التطبيق	نسبة التحسين / النتائج
1	شركة Nasr Automotive	صناعة السيارات	مصر	مشروع مشترك مع شركة صينية استخدم نمذجة ثلاثية الأبعاد لتطوير خطوط إنتاج السيارات الكهربائية (الهيئة العربية للتصنيع مصر، 2022).	تقليل زمن التخطيط والتجهيز بنسبة 20%.
2	مصنع صيانة الطائرات ECA	الطيران	الجزائر	تطوير نماذج قطع غيار بالطباعة ثلاثية الأبعاد والهندسة المتزامنة (وزارة الدفاع الجزائرية، 2021).	تقليل زمن التصنيع المحلي للقطع بنسبة 40%.
3	شركة الصناعات الإلكترونية الأردنية (JEI)	الصناعات الإلكترونية	الأردن	تطوير دوائر إلكترونية ولوحات تحكم باستخدام نمذجة ثلاثية الأبعاد وتكامل هندسي مباشر (Jorden Industrial Estates Company).	تسريع إعداد العينات الصناعية بنسبة 30%.
4	شركة حديد سابك	الحديد والصلب	السعودية	طبقت أنظمة PLM و 3D Design & siemens في تطوير خطوط الدرفلة والتشكيل بالتعاون مع شركاء عالميين (SABIC)، (2020).	تقليل زمن تنفيذ المشاريع بنسبة 20%، خفض التكاليف بنسبة 15%.
5	الشركة السعودية للكهرباء والحديد SEPCO	الحديد والصلب	السعودية	استخدمت نمذجة ثلاثية الأبعاد وهندسة متزامنة في التوسعات الهندسية وخطوط إنتاج السبائك (Gulf Industry Magazine).	زيادة الكفاءة التشغيلية بنسبة 10 - 12%.
6	شركة دهانات جوتن الشرق الأوسط (Jotun Me)	الطلاء	الإمارات العربية المتحدة النرويج	استخدمت حلول تصميم ثلاثي الأبعاد لهندسة مصانع الطلاء في الإمارات والسعودية (Jotun)، (2021).	تقليل وقت تصميم الخطوط بنسبة 20%، تحسين استهلاك المواد الخام بنسبة 10%.
7	الشركة التونسية Tunisian Chemical Group	صناعة الأسمدة والكيماويات	تونس	استخدمت نمذجة ثلاثية الأبعاد في تصميم وحدات جديدة للأسمدة والمواد الكيميائية (GCT Tunisie)، (2021).	تقليل زمن التركيب بنسبة 15%.
8	شركة سيدي كرير للبترودكيماويات (SIDPEC)	صناعة البترودكيماويات	مصر	بدأت دمج أدوات PLM ونمذجة ثلاثية الأبعاد بالتعاون مع Honeywell & Technip (ETHYDCO)، (2021).	خفض مدة تنفيذ التوسعات 15 - 18%.
9	شركة سابك (SABIC) للبترودكيماويات	صناعة البترودكيماويات	السعودية	استخدمت نمذجة ثلاثية الأبعاد والتصميم المتزامن في مصانع إنتاج البولييمرات والمنتجات (SABIC)، (2020).	تقليل زمن تنفيذ المشاريع بنسبة 25%، تقليل الأعطال الفنية في الخطوط بنسبة 15%.
10	شركة التصنيع الوطنية (Tasnee) للبترودكيماويات	صناعة البترودكيماويات	السعودية	تبنت حلول PLM & 3Dsimulation لتحسين إدارة مشاريع التوسعة (Tasnee)، (2021).	تقليل زمن المشروع بنسبة 22%، خفض تكاليف التطوير بنسبة 18%.
11	شركة النيل للبلاستيك	الصناعات البلاستيكية	مصر	تطوير تصميمات القوالب باستخدام نمذجة CAD / CAE متزامنة (الهيئة العامة للتنمية الصناعية مصر).	تقليل فترة التصميم والإنتاج 20 - 25%.
12	شركة المراعي السعودية	التصنيع الغذائي	الرياض / السعودية	استخدمت نماذج ثلاثية الأبعاد في تصميم وتطوير خطوط الألبان والعصائر بالتعاون مع شركات ألمانية في إطار هندسة متزامنة (Almarai)، (2019).	تحسين كفاءة الطاقة وتقليل الأعطال بنسبة 15%.

13	شركة مياه نوبا (Nova Water)	المياه	السعودية	استخدمت نمذجة ثلاثية الأبعاد في تطوير مصانعها بالتعاون مع شركات ألمانية لهندسة خطوط التعبئة (Nova Water)، (2020).	تحسين سرعة التعبئة والتغليف بنسبة 20%. خفض الأعطال بنسبة 18%.
14	شركة مياه العين (Ain Water)	المياه	الإمارات العربية المتحدة	دمجت تقنيات 3D مع تخطيط الإنتاج Digital Twin ضمن نموذج هندسة متزامنة (Agthia Grop AL)، (2021).	تقليل زمن تغيير القوالب بنسبة 30%. رفع كفاءة الخطوط بنسبة 15%.

جدول رقم (4) - تطبيقات لشركات عربية لتقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد والنتائج المتحققة من تطبيقها

إن تتبع تجارب الشركات الصناعية العربية الكبرى في تطبيقها للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد يكشف عن توجه استراتيجي واسع نحو رقمنة عمليات التصميم والإنتاج والتسويق، بما يتماشى مع معايير الجودة العالمية، ومتطلبات التنافس في الأسواق الإقليمية والدولية. هذه التجارب توضح أن الشركات العربية الكبرى بدأت تتبنى نهج الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد كأداة لتقليل الزمن، وتحسين التكامل بين الأقسام، وتقليل التكلفة الإجمالية للمنتج، وتحسين الجودة. بل إن بعض الشركات أصبح يُعد نموذجًا يحتذى به في التحول نحو الصناعة الذكية، رغم تحديات البنية التحتية الرقمية، ونقص المهارات التقنية في بعض البيئات العربية، ومحدودية الدعم المؤسسي. إذ أن فعالية تبني التقنيات الحديثة في الإنتاج العربي مرهونة بوجود استراتيجية تكاملية واضحة تشمل التكنولوجيا، والموارد البشرية، والتمويل (برحومة، 2008).

وعليه؛ فإن تجربة الشركات العربية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد توضح وجود إدراك تدريجي لأهمية هذه المنهجية، ولكنها تتطلب تعزيزًا في مستويات التمكين المؤسسي والتقني، خصوصًا في ظل التوجه العالمي نحو الصناعة 4.0. أضف إلى ذلك؛ أن الانتشار الأوسع لتطبيقات الهندسة المتزامنة لا يزال محصورًا بالشركات الكبرى، ما يتطلب تدخلات حكومية وأكاديمية لتعزيز ثقافة التحول الرقمي في القطاعات الصناعية المتوسطة والصغيرة.

المبحث الرابع: تحليل النتائج المتحققة للشركات العالمية والعربية من تطبيقها للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد:

مما سبق عرضه، واستخلاصه من تطبيقات لعدد من الشركات العالمية والعربية في عدد من القطاعات المختلفة لتقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد والأدوات المصاحبة لها، واعتمادًا على ما حققته تلك الشركات من نتائج؛ نستطيع أن نُفصل تلك النتائج المستخلصة على النحو الآتي:

أولاً / تقليص زمن تطوير المنتج: حيث أن الدمج المبكر للتصميم، والتحليل، والتصنيع في وقت متزامن باستخدام أدوات CAD / CAM / CAE في بيئة ثلاثية الأبعاد مكن من تجاوز التتابع التقليدي، الذي أدى إلى التخلص من زمن الانتظار بين المراحل؛ وهو ما تحقق من نتائج. فمعظم الشركات Toyota و SABIC و Intel و Airbus حققت تقليصًا في الزمن الإجمالي من المفهوم إلى الإنتاج بمعدل 30 - 50%. فنجد أنه:

◀ تم تقليص دورة التطوير من 30 - 36 شهرًا إلى 18 - 24 شهرًا في صناعات السيارات والطائرات.

◀ كذلك تقليل إعداد خطوط إنتاج الإلكترونيات بنسبة 28%.

ثانياً / تحسين الجودة وتقليل أخطاء التصميم والأخطاء الهندسية: إذ سمح استخدام التحليل الهندسي (CAE) بالتوازي مع التصميم (CAD) بالكشف عن العيوب مبكراً. وكذلك دمج التحليل الهندسي (FEA) مع (CFD) مبكراً في التصميم مكن من الكشف عن المشكلات قبل التصنيع الفيزيائي. كما وفرت المحاكاة الرقمية تقييماً دقيقاً للخصائص الفيزيائية، والحرارية، والميكانيكية؛ وهذا أدى إلى تحقيق:

◀ تقليل نسبة الأخطاء التصميمية والعيوب في النماذج الأولية بين 25 – 35%.

◀ خفض معدل التكرار بنسبة 20 – 40%. فنلاحظ أنه في الصناعات الدوائية والغذائية انخفضت معدلات التكرار بسبب الأخطاء التنظيمية والجودة بنسبة 20%.

◀ تقليل عدد النماذج الفيزيائية بنسبة 50% كما هو الحال في شركة Airbus باستخدام (DMU).

ثالثاً / خفض التكلفة الكلية: العمل التشاركي المتزامن يقلل من الأخطاء المكلفة الناتجة عن سوء التنسيق، ويقلل من الحاجة لإعادة العمل بالتخلص من الحاجة لإعادة التصميم أو الإنتاج، وخفض عدد النماذج الفيزيائية، وخفض الاعتماد على النماذج الورقية، والاجتماعات الطويلة، وتقليل الهدر في الموارد، والتالف من الإنتاج. كل ذلك أدى بدوره إلى:

◀ تحقق وفورات مباشرة في التكلفة وصلت إلى 15 – 25%.

◀ تقليل النفقات على النماذج الفيزيائية والتصحيحات في الإنتاج.

فلاحظ أن شركة SABIC سجلت خفضاً في تكلفة تطوير المنتجات الجديدة بنسبة 20 – 30%. وشركة BASF قللت تكلفت تطوير القوالب بنسبة 25%.

رابعاً / تحسين الكفاءة التنظيمية والتواصل الداخلي: سمحت الأنظمة الرقمية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد بتوفير بيئة موحدة؛ مكنت من توحيد البيانات الهندسية، والإنتاجية، والتسويقية في منصة واحدة، والذي حقق بدوره:

◀ تحسين تدفق البيانات؛ الذي أدى إلى تقليل زمن اتخاذ القرار بنسبة 40%.

◀ رفع معدل التنسيق بين الأقسام الفنية والإدارية.

◀ تحسن تدفق المعلومات بين فرق التصميم، والإنتاج، والجودة كما لاحظنا في حالات كلاً من شركة Airbus و Samsung و Nestle.

خامساً / تعزيز تخصيص المنتجات وتسريع الابتكار: سهولة التعديل في النماذج ثلاثية الأبعاد مكنت من تخصيص المنتجات بإدخال تغييرات حسب طلب العملاء أو السوق بشكل أسرع بفضل تقنيات الهندسة المتزامنة، مثل: CAD / CAE / CAM دون التأثير في دورة الإنتاج؛ وهذا بدوره حقق:

◀ زيادة مرونة التصميم بنسبة 30%.

◀ إمكانية إطلاق منتجات جديدة بسرعة أعلى بنسبة 25 – 35%.

◀ دمج التغذية الراجعة من فرق التسويق أو العملاء بشكل مباشر في التصميم.

وعليه؛ يمكن تلخيص النتائج المستخلصة من تطبيق الشركات الصناعية العالمية والعربية لتقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في الجدول الآتي:

المؤشر	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط التقريبي
--------	-------------	-------------	------------------

تقليص زمن التطوير	%25	%50	%38
تقليل الأخطاء التصميمية والهندسية	%20	%35	%28
خفض التكاليف	%15	%30	%22
تسريع إتخاذ القرار	%25	%45	%35
زيادة قدرة التخصيص	%20	%35	%28

جدول رقم (5) – النتائج المستخلصة من تطبيق الشركات الصناعية العالمية والعربية لتقنية الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد

وبما أن الكفاءة الإنتاجية تعني زيادة المخرجات مع تقليل الهدر في الوقت والمواد والجهد، في حين أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تعتمد على تكامل الأنشطة الهندسية (PLM/CAD/CAE/CAM) عبر بيئة رقمية تتيح التفاعل الفوري والتوازي في العمل؛ فإن هذه المقاربة تُمكن من تطوير المنتج، وتحليله، وتجهيزه للتصنيع في وقت واحد؛ مما يقلل زمن التطوير، ويقلل الأخطاء، ويخفض التكلفة؛ بما يحقق تحسين الكفاءة الإنتاجية.

ويمكن بيان دور الهندسة المتزامنة في تحقيق تحسين الكفاءة الإنتاجية، وباعتماد على النتائج المتحققة للشركات الصناعية من تطبيقها للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد؛ من خلال النقاط الآتية:

(1) التكامل الزمني والتوازي في العمليات: الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تسمح للفرق الهندسية، والتقنية، والإنتاجية بالعمل في وقت واحد بدلاً من التتابع الخطي، وهذا التوازي يقلص الوقت الميت بين المراحل؛ وهو أحد أهم عناصر رفع الكفاءة الإنتاجية. حيث تبين لنا ذلك من خلال:

◀ تقليص الزمن من المفهوم إلى المنتج النهائي بنسبة 30 – 50% .

◀ تسريع تنفيذ المهام المتداخلة بدون إنتظار تسليمات.

(2) الحد من إعادة العمل وتحسين جودة المخرجات: بيئة التصميم الثلاثي الأبعاد تتيح محاكاة واقعية متقدمة؛ وهو ما وفرت الأدوات المصاحبة للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد؛ لاكتشاف العيوب قبل التصنيع؛ وهذا بدوره يؤدي إلى:

◀ تقليل التالف بنسبة 20 – 35%.

◀ رفع الجودة النهائية وتقليل الهدر في الموارد.

وهذان العنصران هما عنصران أساسيان في الكفاءة الإنتاجية.

(3) تعزيز مرونة التعديل وسرعة الإستجابة: قدرة الأنظمة ثلاثية الأبعاد على التعديل اللحظي في التصميمات؛ يدعم الاستجابة السريعة للتغيرات، وهذا بدوره يؤدي إلى:

◀ تمكين التخصيص بدون تعطيل الإنتاج.

◀ تقليل زمن التوقف المرتبط بإعادة تصميم أو اعتماد منتج.

وهذا بدوره يرفع من الكفاءة الإنتاجية للمنشآت ويعزز من قدرتها التنافسية.

(4) تحسين التنسيق وتدفق المعلومات: الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تعزز التشاركية باستخدام المنصات الرقمية؛ مما يؤدي إلى:

◀ تسريع إتخاذ القرار بنسبة 30 – 40%.

◀ تقليل حالات سوء الفهم والفجوات المعلوماتية بين الفرق.

◀ دعم استقرار العمليات وتحقيق إنتاجية أعلى بوحدة تشغيلية أقل.

وهو ما يعني تحقيق تحسين في الكفاءة الإنتاجية.

(5) **خفض التكاليف = رفع الكفاءة الكلية:** الكفاءة الإنتاجية لا تتعلق فقط بالسرعة، بل بنسبة المدخلات إلى المخرجات، وباستخدام هذه المنهجية نقل التكلفة للوحدة المنتجة، وذلك نتيجة:

◀ تقليل الحاجة للنماذج الفيزيائية.

◀ خفض ساعات العمل غير الفعالة.

◀ تجنب أخطاء الإنتاج المتكررة.

وبالتالي يمكن أن نستخلص دور الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تحسين الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية على النحو الآتي:-

النتيجة المتحققة	نسبة التحسن الناتج عن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد	العامل المرتبط بالكفاءة الإنتاجية
رفع كفاءة الوقت	30% - 50%	تقليل زمن الإنتاج
رفع كفاءة الموارد	20% - 35%	تقليل الفاقد والتكرار
رفع الكفاءة الإنتاجية	15% - 25%	تقليل التكلفة للوحدة الواحدة
رفع الكفاءة الإدارية	25% - 35%	تسريع التفاعل مع المتغيرات
رفع الكفاءة الاقتصادية	20% - 30%	تحسين إستغلال الموارد

جدول رقم (6) - بيان دور الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في تحسين الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الصناعية

وبالتالي؛ فإن الأدلة التطبيقية تُظهر أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد لا تُحسن فقط العمليات الهندسية، بل تعزز الكفاءة

الإنتاجية بشكل شامل، وذلك من خلال:

◀ تقليل الفاقد.

◀ تسريع العمليات.

◀ تحسين الجودة.

◀ دعم مرونة النظام الصناعي.

والتي تحقق في محصلتها تخفيض التكاليف الكلية، وتعزيز الميزة التنافسية للشركات. وكل ذلك يؤكد على أن هذه المنهجية لم

تعد اختياراً، بل ضرورة لتحقيق التفوق الإنتاجي في بيئة السوق المتغيرة.

يتضح من المراجعة النظرية؛ أن الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تُقدم مجموعة من المزايا العملية التي تساهم في رفع الكفاءة

الإنتاجية إذا تم تنفيذها بحذر، وبناءً على البيئة الصحيحة. فهي تختصر الزمن، وتقلل الأخطاء، وتعزز التعاون بين الوظائف،

وتدعم المرونة في الإنتاج وخفض التكاليف عبر دورة الحياة، لكنها ليست وصفة سحرية، بل تحتاج إلى بيئة داعمة، وكوادر مؤهلة،

وثقافة مؤسسية تدعم الابتكار والتكامل. لذلك فإن تبني الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد ينبغي أن يُصاحبه إعداد تنظيمي وتقني

تدريجي، مع تركيز على بناء قدرات التصميم والتحليل أولاً، ثم التوسع نحو التكامل الشامل مع الإنتاج وإدارة سلسلة القيمة؛ لتحقيق

التحسين المنشود للكفاءة الإنتاجية.

تطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في اليمن:

رغم التحديات الكبيرة التي يواجهها القطاع الصناعي اليمني نتيجة للوضع السياسي، إلا أن هناك بوادر توجه نحو رقمنة العمليات الصناعية وتحسين الكفاءة الإنتاجية، وهو ما يفتح المجال أمام تطبيقات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد كنموذج إنتاجي متكامل. حيث تشير تقارير محلية إلى أن معظم المصانع اليمنية، خصوصاً في القطاعات الغذائية والمشروبات، (مثل مصانع الألبان والمياه والعصائر) لا تزال تعتمد على تقنيات تقليدية في التصميم والتصنيع، مع افتقار ملحوظ لأدوات CAM، CAE، CAD، ومنصات PLM المتقدمة. وقد تبين أن نسبة كبيرة من المنشآت الصناعية لا تستخدم أي أدوات رقمية في تطوير المنتج؛ مما ينعكس على ارتفاع التكاليف الإنتاجية وضعف القدرة التنافسية (العبيسي، 2022: 107).

إن تطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في اليمن لا يزال في مراحله الأولية، لكنه يمثل فرصة استراتيجية لتحسين الكفاءة الإنتاجية، وخفض التكاليف، وتعزيز الجودة، خصوصاً في الصناعات كثيفة الإنتاج. وبالرغم من هذا الواقع؛ تُظهر بعض المصانع في صنعاء وعدن وحضرموت توجهًا حذرًا نحو استخدام أدوات التصميم الثلاثي الأبعاد في تطوير النماذج الأولية، وتحاول ربط عمليات التصميم بالإنتاج بشكل أكثر فاعلية، وإن كان ذلك يتم في الغالب عبر برامج منفصلة. كما أظهرت مخرجات بعض الكليات الهندسية في اليمن—مثل جامعة صنعاء وعدن—وجود معرفة نظرية جيدة بأدوات AutoCAD، SolidWorks، CAE، إلا أن الربط بين التعليم الأكاديمي والتطبيق الصناعي ما يزال محدودًا (العبيسي، 2022: 112). ويمكن للمراكز البحثية أن تلعب دورًا في تهيئة البيئة لتطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد من خلال الشراكة مع المصانع.

الاستنتاجات والتوصيات

يُعدُّ هذا الجزء من البحث خلاصةً علميةً لما تم التوصل إليه من نتائج، وهو يُمثل إسهامات معرفية وأكاديمية تسعى إلى توجيه المنشآت الصناعية، وصناع القرار، والباحثين، نحو كيفية تبني هذه التقنيات بالتدرج، وبفعالية. وفيما يلي عرض للاستنتاجات التي خلص إليها البحث، متبوعة بمجموعة من التوصيات العلمية والعملية الرامية إلى تعظيم الفائدة من تطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في القطاع الصناعي.

أولاً: الاستنتاجات:

1- وجود علاقة قوية بين أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد والكفاءة الإنتاجية؛ إذ أكدت نتائج التحليل وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها، وتحقيق تحسينات ملموسة في تقليل زمن الإنتاج، وتقليص نسب الهدر، وتحسين الجودة، وخفض التكاليف. وهو ما ينعكس مباشرةً في تحسين الكفاءة الإنتاجية، وزيادة الطاقة التشغيلية للمنشآت الصناعية.

2- هناك بعد اقتصادي لتطبيق الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد؛ إذ تشير النتائج إلى أن التطبيق الفعال للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد يساهم في تقليل التكاليف الإنتاجية بنسبة تراوح بين 15% و 30% على المدى المتوسط، ويساعد في تسريع دورة حياة المنتج؛ وذلك يؤدي إلى تحسين القدرة التنافسية، وزيادة حصة المنشأة في السوق، ومن ثم الإسهام في رفع الناتج المحلي الصناعي.

- 3- تحسين جودة المنتج النهائي، إذ أظهرت البيانات أن التصميم المتزامن ثلاثي الأبعاد أدى إلى خفض معدل المنتجات المعيبة والتالفة بنسبة واضحة، وهو ما يرتبط مباشرة بتقليل الهدر وتحسين صورة العلامة التجارية، ومن ثم تعزيز الثقة بالمنتج على المستويين المحلي والإقليمي.
- 4- تحقيق تأثير تكاملي في سلسلة القيمة الصناعية؛ إذ كشفت النتائج أن أدوات الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تخلق بيئة تفاعلية بين مراحل التصميم والإنتاج والتوزيع؛ وذلك يُسرّع من اتخاذ القرار، ويحقق مرونة تشغيلية عالية. هذا التكامل يُسهم في تقليل زمن التوصيل للسوق، وهو عنصر اقتصادي حاسم في الصناعات التنافسية.
- 5- وجود فجوة معرفية لدى الإدارات الفنية والهندسية في المنشآت الصناعية اليمنية بشأن الفوائد الفعلية للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وأدواتها الرقمية؛ وذلك يحد من تبنيها على نطاق واسع.
- 6- ضعف الربط بين البحث العلمي وإحتياجات المنشآت الصناعية؛ إذ كشف البحث محدودية التعاون بين الجامعات والمراكز البحثية اليمنية والمنشآت الصناعية؛ وهو ما يؤثر في تطوير أدوات متخصصة للهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد تلائم السياق المحلي.

ثانيًا: التوصيات:

- 1- تطوير البنية التحتية الرقمية الصناعية في اليمن، وذلك من خلال الاستثمار في البنية الرقمية للمصانع اليمنية، وإدخال نظم التصميم والتصنيع المتكاملة، وتدريب الكوادر الهندسية على تقنيات CAD، CAE ، CAM ، DUM ، PLM وغيرها.
- 2- إنشاء مركز وطني للتدريب والتطوير في مجال الهندسة المتزامنة؛ من أجل دعم التحول الصناعي الرقمي، يخدم مختلف المنشآت الصناعية، ويعزز من التكامل بين القطاع الأكاديمي والصناعي.
- 3- إدماج مفاهيم الهندسة المتزامنة في السياسات الاقتصادية الصناعية ضمن خطط التنمية الصناعية، وربطها ببرامج تعزيز الإنتاج المحلي وتحسين التنافسية؛ بما يُسهم في رفع مساهمة الصناعة في الناتج القومي الإجمالي.
- 4- تبني أنموذج تدريجي لتطبيق الهندسة المتزامنة في المنشآت الصغيرة والمتوسطة؛ إذ تبدأ باستخدام أدوات التصميم الافتراضي منخفضة التكلفة؛ وذلك يُسهم في تحسين الإنتاجية من دون تحميل المنشأة أعباء مالية كبيرة.
- 5- دمج مناهج الهندسة المتزامنة في الجامعات اليمنية، وذلك بتضمين مفاهيم الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد وتقنياتها ضمن المناهج الجامعية في كليات الهندسة والعلوم الإدارية والاقتصادية؛ لتأهيل خريجين قادرين على قيادة التحول الصناعي الرقمي.
- 6- تحفيز التحول الرقمي عن طريق الحوافز الحكومية؛ بتقديم حوافز ضريبية أو تمويلية للمصانع التي تبدأ بتطبيق أنظمة التصميم والإنتاج المتزامن.
- 7- الاستفادة من التجارب الإقليمية الناجحة، من تجارب شركات عربية، مثل: المراعي، وسابك، والعين، التي نجحت في دمج أدوات الهندسة الرقمية المتزامنة ضمن عملياتها لتحقيق كفاءة عالية.

المصادر والمراجع: -

- (1) الأسدي، شهد عودة عبد العباس (2020) أثر التكامل بين الهندسة المتزامنة ومعايير الإستدامة في تعزيز تنافسية المنتجات الصناعية – رسالة ماجستير – جامعة كربلاء -العراق.
- (2) برحومة، عبد الحميد (2008م) – "الكفاءة والفعالية في مجالات التصنيع والإنتاج" – مجلة الدراسات الاقتصادية والمالية – العدد الأول.

- (3) البرزنجي، حيدر شاكر نوري (2007م) – "تأثير الهندسة المتزامنة في تطوير المنتج" دراسة إستطلاعية لأراء المديرين في شركة ديالى العامة للصناعات الكهربائية – رسالة ماجستير – كلية الإدارة والاقتصاد – جامعة بغداد.
- (4) بدر، نضال سلام (2016م) – "التدوير الوظيفي ودوره في الكفاءة الإنتاجية في الوزارات الفلسطينية – رسالة ماجستير – أكاديمية الإدارة والسياسة للدراسات العليا وجامعة الأقصى – غزة – فلسطين .
- (5) بو خمخم، عبد الفتاح و شابونية ، كريمة (2005م) – "تسيير الكفاءة ودورها في بناء الميزة التنافسية " – الملتقى الثالث حول تسيير المؤسسات (المعرفة الركيزة الجديدة والتحدي التنافسي للمؤسسات الاقتصادية) – كلية العلوم الاقتصادية والتسيير – جامعة محمد خضير – بسكرة – الجزائر.
- (6) حمود، خضير وفاخوري، هائل (2001) – إدارة الإنتاج والعمليات – دار الصفا – الطبعة الأولى -عمان – الأردن.
- (7) الدليمي، محمود فهد عبد علي . (2012)- دور الهندسة المتزامنة في تحسين أداء العملية : دراسة ميدانية في شركة الفرات العامة للصناعات الكيماوية والمبيدات – رسالة دكتوراه – كلية الإدارة والاقتصاد – جامعة كربلاء – العراق .
- (8) الراوي، عزة فاروق (2023) – أثر تطبيق الهندسة المتزامنة متعددة الأبعاد في ظل إستراتيجية أسلوب التصنيع المتكامل Leagile على التصنيع المستدام – مجلة البحوث المالية والمحاسبية – جامعة السادات – مصر – العدد 8 (2) – ص219-258.
- (9) سامر، سمية و مشري ، محمد (2019م) – "إدارة الموارد البشرية ودورها في تحسين الكفاءة الإنتاجية" – مجلة المعيار – المجلد العاشر – العدد الرابع – ص (186 – 205) .
- (10) السعيد، صالح (2013م) – تحسين الكفاءة الفنية والاقتصادية بالمؤسسة الاقتصادية الإنتاجية "دراسة اقتصادية قياسية" – أطروحة دكتوراه في العلوم الاقتصادية – جامعة الجزائر.
- (11) السنفي، والشامي (2000) – إدارة الإنتاج والعمليات – الطبعة الثانية – دار الفكر المعاصر – صنعاء - اليمن .
- (12) طه، مكرم يوسف علي (2018م) – الرقابة على الإنتاج ودورها في رفع الكفاءة الإنتاجية: دراسة حالة شركة جياذ لاسيارات" – رسالة ماجستير – كلية العلوم الإدارية – جامعة إفريقيا العالمية – السودان.
- (13) العبدالله، وليد (1994م) – الإنتاجية واقعها وطرق تحسينها بالتطبيق على شركة الإسمنت الأردنية – رسالة ماجستير – جامعة ام درمان – السودان .
- (14) عبد الكاظم، علي محمد (2022م) – توظيف تقنية الهندسة المتزامنة في تصميم المنتج وتأثيره على تعزيز الميزة التنافسية "دراسة استطلاعية في معمل الألبسة الرجالية الجاهزة / النجف الأشرف" – رسالة دكتوراه في علوم إدارة الأعمال – كلية الإدارة والاقتصاد – جامعة كربلاء – العراق.
- (15) العبسي، عبدالله محمد. (2022) -واقع التحول الرقمي في المنشآت الصناعية اليمنية : التحديات والفرص – مجلة العلوم الإدارية والاقتصادية – جامعة تعز – 15(2) – ص 101 – 128.
- (16) علي، أمال عبدالله حميدة (2015م) – إطار مقترح لاستخدام أسلوب الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد في ظل الإدارة الإستراتيجية للتكلفة بهدف زيادة القدرة التنافسية "دراسة تطبيقية" – رسالة دكتوراه - كلية التجارة – جامعة عين شمس – مصر.
- (17) فتيح، ولاء محمد عبدالمعطي (2017م) – الهندسة المتزامنة ومناهج تنفيذها في ظل متغيرات بيئة الإنتاج الحديثة – المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية – مصر – المجلد الثامن – العدد الرابع – الصفحات (655 – 678) .
- (18) القليطي، سعيد علي حسن و حسنين، وائل صلاح (2007م) – "تعريف الكفاءة الإنتاجية لموظفي القطاع العام وأساليب قياسها وآليات تحسينها باستخدام تقنيات الهندسة الصناعية " – مؤتمر التنمية الإدارية (الواقع والطموح) – جامعة الجوف – الرياض – المملكة العربية السعودية .
- (19) كاظم، حمدي طعمة (2001م) – العوامل المؤثرة على الكفاءة الإنتاجية لمعمل المنسوجات الصوفية في الناصرية – العراق.
- (20) الكواز، صلاح مهدي و وعلي، زهراء عبدالحزمة . (2020) – دور تقنية الهندسة المتزامنة في تحسين جودة المنتج – المجلة العراقية للعلوم الإدارية – المجلد 8 – العدد 32 – ص155-173.
- (21) محمد، عمرو حسين مصطفى (2020م) – تصميم وتطوير المنتجات الابتكارية باستخدام أسلوب الهندسة المتزامنة ثلاثية الأبعاد – المجلة العلمية للاقتصاد – جامعة عين شمس – مصر-العدد الثالث – الصفحات 458.
- (22) محمود، نبيل إبراهيم (2008م) – تحليل المتغيرات الاقتصادية والإنتاجية والكفاءات والتغير التقني والعمل ورأس المال – دار البداية للنشر – الطبعة الثانية – عمان – الأردن – ص.
- (23) المصري، أحمد محمد (2004) – الكفاية الإنتاجية للمنشآت الصناعية – مؤسسة شباب الجامعة – الإسكندرية – مصر.
- (24) الموسوي، هادي محمد هادي (2013م) – أثر الهندسة المتزامنة في تعزيز الأسبقيات التنافسية – رسالة ماجستير – جامعة كربلاء – العراق – ص 32 .

- 25) نور الدين، عمرو (2020) – الهندسة المتزامنة متعددة الأبعاد وأثرها على التصنيع المستدام-مجلة العلوم والتقنية – جامعة حلوان – العدد 13 – المجلد 3 – ص 45-68.
- 26) هنية، ماجد حسن (2005) – العوامل المؤثرة على إنتاجية العاملين في القطاع الصناعي: دراسة تطبيقية على قطاع الصناعات الخشبية في قطاع غزة – رسالة ماجستير – الجامعة الإسلامية – غزة – فلسطين.
- 27) يحي، حمزة عبدالله (2018م) – "أثر التدريب على الكفاءة الإنتاجية لدى العاملين بشركة سيقا للجلال" – مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية والقانونية – العدد الخامس – المجلد الثاني.
- 28) Chua, C . K . , Leong, K . F . & Lim, C . S . (2010). *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/7876>.
- 29) Chung, J. , et al . (2022). Reinforcement Learning-based Defect Mitigation for Quality Assurance of Additive Manufacturing. <https://arxiv.org/abs/2210.17272>.
- 30) Cook, R. D – et al . (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. <https://www.wiley.com/enus/Concepts+and+Applications+of+Finite+Element+Analysis%2c+4th+Edition-p-9780471356059>.
- 31) Dongre, N . , et al . (2017) – Enhancing Productivity Through Concurrent Engineering in SMEs . *International Journal of Industrial Engineering Research & Development*.
- 32) Dizbin, Nima Manafzadeh(2022) – Modelling and Control of Production Systems Based on Observed Inter-event Times : An Analytical ang Empirical Investigation – LSU Doctoral – Cornell University – Canada. <https://arxiv.org/abs/2204.01079>
- 33) Ellram L.M & Stanley (2008) , Integrating Strategic Cost Management with a 3DCE environment : Strategies, practices , and benefits . *Journal of Purchasing and Supply Management* 14 (3) : pp183 .
- 34) Fine , Charles H., Golany , B., & Hussein , N., (2005) , "Modeling Tradeoffs in Three Dimensional concurrent Engineering ; A Goal Programming Approach" , *Journal of Operations Management* , Vol (23) , NO .(4) , PP. (389 – 403) .
- 35) Ford, S. & Mortara, L. (2019). *Learning Curves in Digital Manufacturing*. *Technovation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19501>.
- 36) Gibson, I. ,Rosen, D. &Stucker,B. (2021). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-56127-8>.
- 37) Groover. M .P . (2015) . *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*.<https://www.pearson-com/store/plautomation-production-systems-and-computer-integrated-manufacturing/p100002819840>.
- 38) Jiang, Z , Xie, J & Xu , Y . (2014) – "Application of Digital Mock- Up in Product Development" – *Journal of Mechanical Design and Manufacturing*.
- 39) Johansson , Eva ,(2010) , "Information Management for Materials Supply Systems Design" , *International journal of production Res .* , vol (47), No. (8) , pp 2222.
- 40) Kahn. M. (2001).*Digital Product Definition:DMU and Collaborative Design*. SAE TechnicalPaper.<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2001-01-38261>.
- 41) Kang, H. & Peng, Y. (2014) . CAD- based Assembly Planning in 3D Virtual Environments. *Computers is Industry*.www.link.springer.com/article/10-1007/s12008-014-0220-9?utm-source=chatgpt.com
- 42) Kusiak, A. John Wiley & Sons . (1994) . *Concurrent Engineering : Tools and Technologies for Mechanical System Design*.
- 43) McCord, K. (1993). *Managing Design Complexity in Concurrent Engineering*. NIT Sloan. School of Management.<https://onlinelibrary-wiley.com/doi/abs/10-1002/9780470172452-ch3>.
- 44) Mourtzis, D. (2016). Interoperability Issues in Digital Manufacturing Platforms. *Procedia CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 15(2) . 1- 9 . <https://doi-org/10.1016/j.cirpj.2016.06.001>
- 45) Porter, M .(1985).*Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*.
- 46) Singh, R., et al . (2020). Additive Manufacturing: Training and Knowledge Gaps. *Journal of Manufacturing Processes*.www.cambridge-org/core/product/DABE5F55D53E0EA02134/core-reader?utm_source=chatgpt.com
- 47) Stark, J. (2020). *Product Lifecycle Management*.<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-42250-0>.
- 48) Valle,S and Vazquez . Bustelo, D.(2009) , *Concurrent Engineering Performance : Incremental versus Radical innovation* , *International Journal of Production Economics* , Vol 119(1) , pp 138 .

- 49) Versteeg, H .K . & Malalasekera, W . (2007) . An Introduction to Computational Fluid Dynamics.<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/introduction-to-computational-fluid-dynamics-the-finite-volume-method/P200000001579>.
- 50) Wardell, Eric Joseph, (2015) – Concurrent Engineering Through Parallelization of The Design-Analysis Process – Master -Brigham Young University- USA. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/5281>.
- 51) Wei, Yu-Feng . (2001) – Concurrent Design for Optimal Quality and Cycle Time – Doctoral These – Massachusetts Institute of Technology (MIT) – Department of Mechanical Engineering.<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/8859>
- 52) World Bank. (2020). Manufacturing and Economic Growth in Developing Countries. Retrieved from: <https://www.worldbank.org>.
- 53) Zhou, M. (2013). Computer-Aided Design and Manufacturing. <https://www.com/gp/book/9781441999063>.
- 54) Zeid, I . (2005) . Mastering CAD/CAM. Mc Grow-Hill <https://www.mheducation.com/highered/product/mastering-cad-cam-zeid/M9790072868456.html>.
- 55) الهيئة العربية للتصنيع. (2022) – مصر . <https://www.aoi.org-eg.com>.
- 56) وزارة الدفاع الجزائرية (2021) – مجلة الصناعات العسكرية الجزائرية.
- 57) الهيئة العامة للتنمية الصناعية – مصر . <https://www.ida-gov-eg.com>.
- 58) Agthia Grop (AL Ain Water). (2021) – Digital Production Innovation. Retrieved from: : <https://www.agthia.com>.
- 59) Akzo Nobel. (2021) – Digital innovation in coatings manufacturing. Akzo Nobel Innovation Reports. Retrieved from : <https://www.akzonobel.com>.
- 60) Almarai. (2019) – Annual Report and Engineering Initiatives. Retrieved from: <https://www.ahmarai.com>.
- 61) Apple Inc. (2020) – Product Development Pipeline Overview. Retrieved from : <https://www.apple.com>.
- 62) BASF. (2020) – Innovation in engineering and production systems. BASF Group Annual Report. Retrieved from : <https://www.basf.com>.
- 63) Boeing. (2019) – Digital Engineering Success Stories. <https://www.boeing.com>.
- 64) Danone. (2020) – Danone Water Sustainability and Engineering. Retrieved from: <https://www.danone.com>.
- 65) Dassault Systems. (2020) – Airbus Case Study . <https://3ds.com>.
- 66) POSCO. (2018) – Smart Manufacturing in Steel Industry. Retrieved from : <https://www.posco.com>.
- 67) Dell Technologies. (2021) – Digital Manufacturing & Design Report. Retrieved from : <https://www.dell.com>.
- 68) Dow. (2021) . Advanced manufacturing and simulation integration. Dow Corporate Reports. Retrieved from : <https://www.dow.com>.
- 69) ETHYDCO. (2021) – Engineering Project Expansion Overview. Retrieved from: <https://www.ethydcog-eg.com>.
- 70) GCT Tunisia. (2021) – Digitalization in Chemical Manufacturing. Retrieved from: <https://www.gct.com.tn>.
- 71) Gulf Industry Magazine: www.gulfindustryonline.com.
- 72) Holcim. (2020) – Sustainability and Innovation Report. Retrieved from : <https://www.holcim.com>.
- 73) IMF.(2021). Diversification and Structural Transformation in Emerging Economies. Retrieved from: <https://www.imf.org>.
- 74) Intel. (2021) – Smart Manufacturing Case Studies. Retrieved from : <https://www.intel.com>.
- 75) Jordan Industrial Estates Company. <https://www.jiec.com.jo>
- 76) Jotun. (2021). Factory Design Optimization in UAE & KSA. Retrieved from: <https://www.jotun.com>.
- 77) LG Electronics. (2022) – Digital R&D Integration. Retrieved from : <https://www.lg.com>.
- 78) Nestle. (2021) Engineering Innovation and Sustainability Report. Retrieved from: <https://www.nestle.com>.
- 79) Nestle. (2021) – Nestle Waters Engineering Report. Nestle S.A. Retrieved from: <https://www.nestle.com>.
- 80) Nova Water. (2020) – Engineering and Production Overview. Retrieved from: <https://novawater.com.sa>.
- 81) SABIC. (2020) . Technical Magazine – 'Media Library'. <https://www.sabic.com>.

- 82) SABIC. (2020) *Technical Magazine- Engineering Efficiency and Digitalization*. Retrieved from: <https://www.sabic.com>.
- 83) Samsung Electronics. (2021) – *Product Lifecycle Engineering Report*. <https://www.samsung.com>.
- 84) Tasnee. (2021) *Annual Report – Smart Project Execution and PLM Integration*. Retrieved from: <https://www.tasnee.com>.
- 85) Toyota Motor Corp. (2020) – *Integrated Product Development Report* . <https://www.toyota.com>.
- 86) UNIDO. (2022). *Industrial Development Report 2022 : The Future of Industrialization*. Retrieved from: <https://www.unido.org>.