ISSN: 2663-5798 || Arab Journal for Scientific Publishing

الإصدار الثامن – العدد الثاني والثمانون
تاريخ الإصدار: 2 – آب – 2025م
www.ajsp.net

"دور وتأثير الذكاء الإصطناعي في مجالات الهندسة الميكانيكية: تحليل التطبيقات والتحديات"

إعداد الباحث:

مهندس / محمد أحمد العوضى

الهيئة العامة للتعليم التطبيقى و التدريب | معهد التدريب الانشائى | الكويت"

الملخص:

يشهد العالم الصناعي في العقدين الأخيرين تطورًا متسارعًا في تقنيات الذكاء الاصطناعي(AI) ، مما جعله أحد الركائز الأساسية للتحول الرقمي في القطاعات الهندسية. يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل التأثير النظري لتقنيات الذكاء الاصطناعي في مجالات الهندسة الميكانيكية، مع التركيز على تطبيقاته في التصميم، التصنيع، والصيانة. ويُعنى البحث باستعراض وتحليل الأدبيات والدراسات السابقة الصادرة في الفترة من 2018 إلى 2024، ضمن منهج وصفي تحليلي يربط بين النظرية والتطبيق.

يركز البحث على أدوات الذكاء الاصطناعي الأكثر استخدامًا، مثل التعلم الآلي، والرؤية الحاسوبية، والتعلم العميق، والشبكات العصبية الاصطناعية، وكيفية توظيفها في تحسين كفاءة العمليات الميكانيكية. كما يتناول البحث مفاهيم مثل الصيانة التنبؤية، والتحكم الذكي، ومحاكاة الأداء، ويوضح كيف أدت هذه التقنيات إلى خفض التكاليف وزيادة الاعتمادية والجودة في خطوط الإنتاج.

يتضمن البحث تحليلاً مقارنًا لعدد من الدراسات التطبيقية المنشورة، مع عرض جداول توضيحية وأمثلة لمجالات استخدام الذكاء الاصطناعي في بيئات صناعية فعلية. وقد أظهرت النتائج أن التكامل بين الهندسة الميكانيكية والذكاء الاصطناعي لم يعد خيارًا، بل ضرورة لمواكبة متطلبات السوق الحديث وتعقيداته التقنية.

يختتم البحث بمجموعة من التوصيات الأكاديمية والمهنية، التي تدعو إلى تعزيز التعليم المتداخل بين التخصصات، وتشجيع المهندسين الميكانيكيين على اكتساب مهارات البرمجة وتحليل البيانات. كما يؤكد على أهمية دعم البحث العلمي في مجال الذكاء الاصطناعي التطبيقي في السياقات الميكانيكية، لضمان مستقبل أكثر ذكاءً واستدامة للقطاع الصناعي.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الهندسة الميكانيكية، التعلم الآلي، الصيانة التنبؤية، التصنيع الذكي.

مقدمة البحث:

شهدت العقود الأخيرة تطورًا متسارعًا في مجالات الذكاء الاصطناعي، مما أدى إلى بروز هذه التقنية كمحرك رئيسي للتحول الرقمي في مختلف القطاعات الهندسية، ومنها الهندسة الميكانيكية، حيث أصبح من الضروري إعادة النظر في النماذج التقليدية للتصميم والإنتاج والصيانة في ضوء التطورات المتقدمة في تقنيات الذكاء الاصطناعي.(Dwivedi et al., 2021)

تُعد الهندسة الميكانيكية من التخصصات التي تتطلب دقة عالية في التحليل والتحكم والتصميم، وهي بيئة مناسبة لاستيعاب تقنيات مثل التعلم الآلي والرؤية الحاسوبية والتعلم العميق، والتي يمكن أن تساهم في تحسين جودة التصنيع، وتقليل الأعطال، وتعزيز عمليات الصيانة الذكية.(Dogan et al., 2021)

لقد أدت مفاهيم مثل "الصيانة التنبؤية" و"التحكم الذكي" إلى إعادة تعريف العلاقة بين الأنظمة الميكانيكية والبيانات، حيث أصبحت البيانات المستخرجة من الحساسات والمجسات تشكل مدخلًا أساسيًا في نماذج تحليل الأعطال والتنبؤ بها، مما يوفر بيئة تشغيل أكثر أمانًا وفعالية.(Carvalho et al., 2019)

كما ساعدت النماذج القائمة على الذكاء الاصطناعي في تعزيز الابتكار في تصميم المنتجات، من خلال تحسين أنظمة المحاكاة وتمثيل الخصائص الهندسية بشكل أكثر دقة، وهو ما يعكسه التطور الملحوظ في أدوات التمثيل العميق للبيانات التصميمية (Akay et al., 2020).

وتبرز أهمية هذا البحث من خلال التركيز على التحليل النظري لمدى تأثير الذكاء الاصطناعي على تخصص الهندسة الميكانيكية، مستندًا إلى مراجعة شاملة للدراسات السابقة وتحليلها بشكل نقدي ومنهجي.(Arinez et al., 2020)

مشكلة البحث:

على الرغم من التقدم الملحوظ في تقنيات الذكاء الاصطناعي وتطبيقها في مجالات متعددة، لا تزال هناك فجوة واضحة في مدى تكامل هذه التقنيات في الممارسات العملية للهندسة الميكانيكية، خاصة في البيئات الصناعية التقليدية التي تواجه تحديات في تبني الذكاء الاصطناعي ضمن أنظمتها التصميمية أو الإنتاجية. كما أن الدراسات الحالية تعاني من تباين في النتائج والتوصيات، مما يصعب على المهندسين اتخاذ قرارات مبنية على دلائل علمية موحدة.(Diez-Olivan et al., 2019)

أهمية البحث:

تبرز أهمية هذا البحث في كونه يوفر منظورًا تحليليًا شاملاً لتأثير الذكاء الاصطناعي على المجالات الأساسية للهندسة الميكانيكية مثل التصميم، التشغيل، الصيانة، والتطوير، مما يسهم في توجيه الباحثين والمهنيين نحو تبني استراتيجيات أكثر فعالية قائمة على التحليل البياني والنماذج الذكية. كما تزداد أهمية الدراسة في ظل الانتقال نحو الصناعة 4.0، حيث تتطلب الأنظمة الهندسية قدرة أكبر على التكيف والذكاء الذاتي .

أهداف البحث:

1. تحليل نظري للتطبيقات المختلفة للذكاء الاصطناعي في مجالات التصميم والتصنيع والصيانة الميكانيكية .
2. تحديد الفوائد والتحديات المرتبطة بدمج الذكاء الاصطناعي في البيئات الصناعية .
3. تقديم أمثلة تطبيقية مستندة إلى الدراسات السابقة لتوضيح الإمكانيات الواقعية للذكاء الاصطناعي في القطاع الميكانيكي .
4. صياغة توصيات موجهة للأوساط الأكاديمية والصناعية لتعزيز التكامل بين الذكاء الاصطناعي والهندسة الميكانيكية.

فرضيات البحث:

1. توجد علاقة إيجابية بين دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحسين كفاءة عمليات التصميم والإنتاج في الهندسة الميكانيكية .
2. يؤدي استخدام الصيانة التنبؤية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي إلى تقليل الأعطال الميكانيكية وتحسين عمر الآلات.
3. يمتلك الذكاء الاصطناعي القدرة على خفض التكاليف وزيادة جودة المنتج في نظم التصنيع الحديثة.
4. يواجه دمج الذكاء الاصطناعي في الميكانيكا تحديات متعلقة بالبنية التحتية، والمهارات البشرية، وتكامل البيانات.

حدود البحث:

يقتصر هذا البحث على الطابع النظري التحليلي، دون التطرق إلى تجارب أو دراسات ميدانية، حيث يعتمد بشكل كامل على مراجعة الأدبيات العلمية المنشورة خلال الفترة من عام 2018 حتى 2024. كما تتركز الدراسة على تطبيقات الذكاء الاصطناعي في المجالات الأساسية للهندسة الميكانيكية، تحديدًا في مجالات التصميم، التصنيع، والصيانة، دون التوسع في مجالات الطاقة أو الطيران أو الفضاء. بالإضافة إلى ذلك، تم اعتماد مراجع باللغة الإنجليزية فقط، دون تضمين مراجع بلغات أخرى. وقد تم اختيار الدراسات التي تعكس التوجهات الحديثة في الصناعة 4.0، والتركيز على النماذج المدعومة بالبيانات والذكاء الاصطناعي في بيئة الإنتاج الهندسي

مصطلحات الدراسة وتعريفاتها:

الذكاء الاصطناعي:(Artificial Intelligence – AI)

مجموعة من التقنيات التي تتيح للأنظمة أداء مهام تتطلب عادة الذكاء البشري، مثل اتخاذ القرار، التنبؤ، التفاعل، والتحكم الذاتي (Rashid et al., 2024).

التعلم الآلي:(Machine Learning – ML)

أحد فروع الذكاء الاصطناعي يعتمد على خوارزميات تُمكّن الأنظمة من التعلم من البيانات وتحسين أدائها تدريجيًا دون تدخل بشري مباشر.(Lawson et al., 2021)

الصيانة التنبؤية:(Predictive Maintenance)

نهج تقني يستخدم البيانات الحية وتحليلات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بأعطال المعدات قبل حدوثها فعليًا، بهدف تقليل التوقفات المفاجئة وتحسين كفاءة التشغيل.(Kim et al., 2013)

الرؤية الحاسوبية:(Computer Vision)

فرع من الذكاء الاصطناعي يُستخدم لمعالجة وتحليل الصور والفيديوهات بهدف استخلاص معلومات يمكن استخدامها في التحكم أو اتخاذ القرار داخل الأنظمة الصناعية.(Chen et al., 2023)

التصنيع الذكي:(Smart Manufacturing)

نظام إنتاج متكامل يعتمد على الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، وتحليل البيانات الضخمة لتحقيق عمليات تصنيع مرنة، سريعة، وفعالة.(Arinez et al., 2020)

أولًا: الذكاء الاصطناعي في التصميم الهندسي الميكانيكي

يمثل التصميم الهندسي المرحلة الأساسية في دورة حياة المنتج الميكانيكي، ويُعد من أكثر المراحل التي تستفيد من تقنيات الذكاء الاصطناعي، نظرًا لما تتطلبه من عمليات تحليل معقدة، وتخطيط دقيق، واتخاذ قرارات متعددة المعايير. ومع تطور أدوات الذكاء الاصطناعي، بدأ المهندسون يعتمدون بشكل متزايد على تقنيات مثل التعلم العميق وتمثيل البيانات الهندسية في أتمتة وتطوير عمليات التصميم.(Akay et al., 2020)

يُستخدم التعلم العميق في تحليل الرسومات الفنية والنماذج ثلاثية الأبعاد لاستخراج الميزات التصميمية تلقائيًا، مما يساهم في تقليل وقت التطوير وتحسين جودة التصميم الأولي. وقد أظهرت دراسة Akay et al. (2020) إمكانية توليد تمثيل رقمي دقيق للميزات الهندسية باستخدام الشبكات العصبية العميقة، وهو ما يعزز مفهوم "التصميم المعتمد على البيانات."

وفي السياق ذاته، تسهم نماذج دعم القرار الذكية في تحسين عمليات اتخاذ القرار أثناء التصميم، وذلك من خلال تحليل بيانات التصميمات السابقة وربطها بالمتطلبات الجديدة. وتشير دراسة Papalambros (2002) إلى أن استخدام خوارزميات التحسين القائمة على الذكاء الاصطناعي يمكّن المصممين من استكشاف مساحات تصميمية متعددة واختيار الحلول المثلى بناءً على معايير الأداء، الكلفة، والموثوقية.

كما بدأ الاعتماد على نماذج اللغة الكبيرة (LLMs) مثل GPT في دعم الأنشطة التصميمية غير التقليدية، مثل تفسير المواصفات الفنية، واقتراح حلول تصميمية أولية. وقد أوضحت دراسة Göpfert et al. (2024) كيف يمكن لهذه النماذج أن تسهم في تسريع التوثيق الفني وتحسين التعاون بين فرق التصميم متعددة التخصصات.

من جانب آخر، تُستخدم تقنيات الرؤية الحاسوبية في التحقق من سلامة التصميم من حيث الأبعاد والدقة، حيث تُحلل الصور والمخططات لمكونات التصميم لرصد الأخطاء المحتملة. وأكدت دراسة Chen et al. (2023) أن النماذج المدربة على صور مكونات واقعية كانت قادرة على كشف العيوب التصميمية بشكل دقيق قبل انتقالها إلى مرحلة التصنيع.

كما استخدمت دراسة Chen et al. (2023) تقنيات التعلم المعزز (Reinforcement Learning) في تطوير تصاميم جنيحات الطائرات، حيث تولى النموذج الذكي تحسين شكل الجنيح بشكل تدريجي عبر محاكاة الأداء الهوائي وتحقيق التوازن بين مقاومة الهواء وقوة الرفع، وهو ما مثّل نموذجًا حيًا على "التصميم القائم على الأداء."

وتُظهر دراسة Lawson et al. (2021) أن النماذج القائمة على الذكاء الاصطناعي ساعدت في تحليل العلاقات المعقدة بين العوامل التصميمية ونتائج الأداء النهائي، خاصة في تصميم المكونات ذات الأداء الحراري أو الديناميكي المعقد. من خلال تحليل البيانات، أصبح بالإمكان تحسين النماذج التصميمية لتلبية قيود بيئية وتشغيلية صارمة دون الحاجة لتكرار التجارب الواقعية.

ومن الأمثلة التطبيقية، تناولت دراسة Ambadekar et al. (2023) استخدام الذكاء الاصطناعي في بيئات التصميم الصناعي المتقدمة، حيث طُبقت خوارزميات التعلم الآلي في نمذجة تصميمات متغيرة حسب الطلب، ضمن بيئات التصنيع المرن. وقد نتج عن هذا التكامل تقليص وقت تطوير النماذج بنسبة وصلت إلى 30% في بعض الصناعات الدقيقة.

تجدر الإشارة إلى أن أحد التحديات المهمة في مجال التصميم الذكي هو توافر بيانات كافية ومتنوعة لتدريب النماذج، وهذا ما أشار إليه Rashid et al. (2024) عند الحديث عن التحديات الهيكلية لتطبيق الذكاء الاصطناعي في الصناعات. كما أكدت دراسة Diez-Olivan et al. (2019) أن دمج مصادر البيانات المختلفة – من الحساسات، الرسومات، ومحاكاة الأداء – يسهم في تحسين جودة النماذج التصميمية القائمة على الذكاء.

إضافة إلى ما سبق، أصبحت بيئات "التوأمة الرقمية (Digital Twin) "جزءًا لا يتجزأ من تصميم المنتجات الحديثة، حيث يُستخدم نموذج افتراضي متصل في الزمن الحقيقي بالمكون الفيزيائي لتقييم أدائه، ومحاكاة ظروف تشغيل متعددة، وتحديث التصميم عند الحاجة. وأشارت دراسة Balla et al. (2023) إلى أهمية هذه المنظومة في تصميم خطوط الإنتاج الصناعية وتدريب المهندسين.

في النهاية، فإن الذكاء الاصطناعي لا يضيف فقط أداة تقنية إلى أدوات المصمم الميكانيكي، بل يعيد صياغة طبيعة عملية التصميم نفسها، حيث تتحول من نشاط قائم على التقدير والخبرة إلى عملية مدفوعة بالبيانات والنماذج التنبؤية، مما يسهم في تقليل الأخطاء، تسريع التطوير، وتعزيز الابتكار.(Göpfert et al., 2024)

ثانيًا: الذكاء الاصطناعي في التصنيع والإنتاج الميكانيكي

أدى الذكاء الاصطناعي إلى إحداث ثورة في آليات التصنيع والإنتاج، حيث مكّن المصانع من التحول نحو بيئات إنتاج ذكية تتميز بالكفاءة العالية، والقدرة على اتخاذ قرارات تشغيلية ذاتية استنادًا إلى البيانات. وتُعد تقنيات التعلم الآلي من أبرز الأدوات المستخدمة في هذا المجال، حيث يتم تحليل البيانات التشغيلية الواردة من الحساسات في خطوط الإنتاج، والتفاعل معها لحظيًا لضبط العمليات وتقليل الهدر.(Dogan et al., 2021)

تعتمد أنظمة التصنيع الحديثة على خوارزميات تحليل بيانات متقدمة تتيح التنبؤ بالانحرافات الإنتاجية قبل وقوعها، مما يسمح بإجراء تعديلات فورية على المعايير التشغيلية. وقد بيّنت دراسة Diez-Olivan et al. (2019) أهمية "دمج البيانات متعددة المصادر" في تحسين دقة اتخاذ القرار وتحقيق استجابة سريعة لتقلبات الإنتاج.

كما أن نظم التحكم الذكي أصبحت تعتمد على الشبكات العصبية والتعلم المعزز، وهو ما مكّن الآلات من التعلم من تجاربها وتحسين أدائها عبر الزمن، كما هو الحال في بعض خطوط إنتاج السيارات التي طُبّقت فيها خوارزميات تعلم الآلة لاكتشاف العيوب أثناء التصنيع في الوقت الحقيقي.(Ciccone et al., 2023)

من ناحية أخرى، ساهم الذكاء الاصطناعي في تحسين مراقبة الجودة، وذلك من خلال استخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية لمراقبة المنتجات والتأكد من مطابقتها للمواصفات، دون الحاجة إلى تدخل بشري مباشر. وتُستخدم هذه النظم بكثافة في الصناعات الدقيقة مثل الإلكترونيات والمكونات الطبية.(Chen et al., 2023)

أما في مجال التصنيع الإضافي(Additive Manufacturing) ، فقد أصبح من الممكن استخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين تصميم الأجزاء قبل طباعتها، والتحكم في جودة عملية الطباعة من خلال مراقبة الطبقات في الزمن الحقيقي. وقد ناقشت دراسة Ciccone et al. (2023) هذا الجانب بالتفصيل، مشيرة إلى أن دمج الذكاء الاصطناعي في هذا النوع من التصنيع يعزز الدقة ويقلل من المواد المهدورة.

كذلك أشارت دراسة Arinez et al. (2020) إلى أن توظيف الذكاء الاصطناعي في الإنتاج الصناعي يتطلب توفر بنية تحتية معلوماتية قوية، ونُظم اتصال صناعية مؤمنة، لضمان تدفق البيانات بسلاسة وسرعة. وقد ساعدت تقنيات مثل OPC-UA و IoT في دعم هذا التكامل.(Gilles et al., 2023)

كما تُظهر البيانات المجمعة من مصانع مختلفة أن اعتماد الذكاء الاصطناعي أدى إلى تحسين استخدام الطاقة، وتحقيق مرونة إنتاجية عالية، خاصة في أنظمة الإنتاج الخلوي وشبكات التصنيع الموزعة.(Ballupete et al., 2022)

أخيرًا، تشير التوجهات الحديثة إلى أن الذكاء الاصطناعي لم يعد مجرد أداة تحسين، بل أصبح عنصرًا أساسيًا في استراتيجيات التطوير والإنتاج طويل الأمد في المؤسسات الصناعية، مما يتطلب إدماجه منذ مراحل التصميم الهندسي للمصنع ذاته (Ambadekar et al., 2023).

ثالثًا: الذكاء الاصطناعي في الصيانة الميكانيكية التنبؤية

تُعد الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) من أبرز التطبيقات التي برز فيها دور الذكاء الاصطناعي في الهندسة الميكانيكية، حيث ساهمت في تقليل التكاليف التشغيلية، وتقليص الأعطال المفاجئة، وزيادة عمر الآلات. وتقوم هذه النظم على تحليل البيانات الفعلية القادمة من الحساسات المرتبطة بالمعدات، ومن ثم استخدام خوارزميات تعلم الآلة لاكتشاف التغيرات التي تسبق حدوث الأعطال (Carvalho et al., 2019).

أوضحت دراسة Sanzana et al. (2022) أن استخدام الشبكات العصبية في تحليل صور أنظمة التبريد والتهوية ساعد في اكتشاف التدهور المبكر في المكونات، مما سمح بإجراء الصيانة الاستباقية في الوقت المناسب. وتُظهر هذه الدراسة أهمية الرؤية الحاسوبية في مراقبة الأنظمة دون الحاجة إلى توقف فعلي للخط الإنتاجي.

كما ركزت دراسة Kim et al. (2013) على تحليل فشل القطارات بناءً على عواقب الأعطال، واقترحت آليات تنبؤية تعتمد على مخرجات نماذج الذكاء الاصطناعي، ما أدى إلى تحسين قرارات جدولة الصيانة وتقليل المخاطر التشغيلية. هذا النهج أصبح يُستخدم بشكل متزايد في خطوط السكك الحديدية والمعدات الثقيلة.

بالإضافة إلى ذلك، استعرضت دراسة Bahador et al. (2021) نموذجًا تطبيقيًا لمصنع يستخدم الذكاء الاصطناعي في رصد الأعطال عبر مستشعرات متعددة وربطها بمنصة تحليل سحابية، مما يعكس التوجه الحديث نحو ربط الصيانة بالتحول الرقمي الكامل (Industry 4.0).

من جهة أخرى، ناقشت دراسة Alajmi et al. (2020) استخدام تقنيات تعلم الآلة المتقدمة (مثل XGBoost) للتنبؤ بمعدل تآكل أدوات القطع في عمليات الثقب، وخلصت إلى أن النماذج المدربة على بيانات الإنتاج الواقعية تفوقت بشكل كبير على الجداول التقليدية في توقع فترات الاستبدال المثلى.

وقد أظهرت دراسات عدة أن تقنيات الذكاء الاصطناعي لا تقتصر على التنبؤ بالأعطال فحسب، بل تشمل أيضًا تقديم توصيات آلية لفرق الصيانة، واقتراح خطط بديلة عند اكتشاف حالات خلل محتملة. وتعد هذه القدرة من أهم مميزات الصيانة الذكية مقارنة بالطرق الوقائية التقليدية.(Dwivedi et al., 2021)

كذلك، تشير دراسة Almobarek et al. (2023) إلى تطبيق الذكاء الاصطناعي في أنظمة المياه المبردة للمباني التجارية، حيث أدى النموذج الذكي إلى تقليل استهلاك الطاقة بنسبة ملحوظة، وزيادة كفاءة التشغيل من خلال التحكم الآلي المعتمد على البيانات.

من زاوية منهجية، يُجمع الباحثون على أهمية توفر بيانات موثوقة ودقيقة من الحساسات، وإمكانية ربطها بمنصات تحليل ذكية، بالإضافة إلى وجود بنية تحتية رقمية متكاملة لضمان نجاح تطبيقات الصيانة التنبؤية.(Mallioris et al., 2024)

أخيرًا، يتضح من تحليل الدراسات أن دمج الذكاء الاصطناعي في الصيانة الميكانيكية لا يمثل فقط تطويرًا وظيفيًا، بل تحولًا بنيويًا في إدارة الأصول الصناعية، حيث تصبح الآلة ذاتها عنصرًا فاعلًا في عملية التقييم والقرار، وهو ما يفتح آفاقًا جديدة لما يُعرف بـ"الصيانة المستقلة" أو "الذكية ذاتيًا".(Rashid et al., 2024) "

منهجية الدراسة

نظرًا لطبيعة هذا البحث النظرية، فقد تم تبني **المنهج الوصفي التحليلي(Descriptive Analytical Method)** ، الذي يُعنى بجمع وتحليل المعلومات من الدراسات والمصادر الأكاديمية ذات الصلة، دون إجراء أي تجارب ميدانية أو تطبيقات عملية مباشرة. يعتمد هذا المنهج على مراجعة الأدبيات العلمية وتحليل الاتجاهات البحثية والنماذج التطبيقية المختلفة التي توظف الذكاء الاصطناعي في مجالات الهندسة الميكانيكية .

تم اعتماد **مراجعة أدبية منهجية (Systematic Literature Review)** من خلال اختيار دراسات منشورة في مجلات علمية موثوقة ضمن الفترة الزمنية من عام 2018 حتى عام 2024، وهو ما يسمح بتكوين رؤية دقيقة حول الاتجاهات الحديثة في هذا المجال. وقد تمت مراجعة أكثر من 40 مرجعًا علميًا، شملت مجالات التصميم الهندسي، التصنيع، والصيانة الذكية .

التحليل التفصيلي لاستخدامات الذكاء الاصطناعي في الهندسة الميكانيكية

1- الذكاء الاصطناعي في التصميم الهندسي

أصبح الذكاء الاصطناعي أداة رئيسية في تسريع وتطوير عمليات التصميم الهندسي. فعلى سبيل المثال، يستخدم التعلم العميق لتحليل رسومات CAD ثلاثية الأبعاد، واستخلاص الخصائص الهندسية منها، مما يوفر وقتًا وجهدًا كبيرين للمصممين (Akay et al., 2020).

كما أن نماذج اللغة الكبيرة تتيح للمصممين التفاعل النصي مع النظام، وطرح مواصفات، والحصول على حلول تصميمية مقترحة بشكل لحظي، مما يعزز الإبداع ويقلل الاعتماد على التجربة والخطأ.(Göpfert et al., 2024)

شكل ١ استخدامات LLMs

2- الذكاء الاصطناعي في التصنيع والإنتاج

ساهمت تقنيات الذكاء الاصطناعي في رفع كفاءة الإنتاج الصناعي، من خلال الرؤية الحاسوبية والتعلم الآلي. في خطوط الإنتاج الحديثة، يتم رصد البيانات الحسية وتحليلها لحظيًا للتعرف على الانحرافات، مما يقلل من الهدر ويزيد الإنتاجية (Dogan et al., 2021).

كذلك، تُستخدم الشبكات العصبية في التحكم في جودة الطباعة ثلاثية الأبعاد أو تشغيل الماكينات الحساسة، مما يتيح التصنيع الذكي القائم على الاستجابة الفورية للبيانات(Ciccone et al., 2023).

جدول ١ تقنيات الذكاء الاصطناعي في التصنيع والإنتاج

التقنية المستخدمة	الاستخدام التطبيقي	الفوائد المحققة	المراجع
الرؤية الحاسوبية (Computer Vision)	رصد جودة الإنتاج وكشف العيوب بصريًا	تقليل الفاقد وتحسين جودة المنتج النهائي	Dogan et al. (2021)
تعلم الآلة (Machine Learning)	تحسين سرعة الخطوط الإنتاجية وفق البيانات التشغيلية	رفع كفاءة الطاقة وتقليل وقت التشغيل	Ciccone et al. (2023)
الشبكات العصبية (Neural Networks)	التنبؤ بالأداء واكتشاف الأعطال أثناء التشغيل	تحقيق صيانة تنبؤية وتحسين الموثوقية	Carvalho et al. (2019)
التحكم الذكي في العمليات	ضبط المعلمات التشغيلية تلقائيًا بناءً على تحليل البيانات	زيادة مرونة الإنتاج وتقليل التدخل البشري	Diez-Olivan et al. (2019)

3- الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية

الصيانة التنبؤية من أبرز المجالات التي أثبت فيها الذكاء الاصطناعي فعاليته. فمن خلال تحليل البيانات التاريخية والفعلية للحساسات، يمكن التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها. مثال على ذلك هو استخدام XGBoost للتنبؤ بتآكل أدوات القطع، مما يسمح باستبدالها في الوقت الأمثل دون خسارة تشغيلية.(Alajmi et al., 2020)

كما أن الرؤية الحاسوبية تُستخدم لمراقبة الأنظمة مثل وحدات التبريد والتهوية، حيث تُحلل الصور لتحديد مؤشرات الخلل مبكرًا (Sanzana et al., 2022).

جدول ٢ تقنيات الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية

التقنية المستخدمة	الاستخدام التطبيقي	الفوائد المحققة	المراجع
XGBoost + تعلم آلي	توقع تآكل أدوات القطع قبل حدوث الأعطال	تقليل التوقفات غير المخططة وزيادة عمر الأداة	Alajmi et al. (2020)
الرؤية الحاسوبية (Computer Vision)	تحليل صور المعدات لاكتشاف علامات التدهور	الصيانة المبكرة وتقليل الأعطال المفاجئة	Sanzana et al. (2022)
تحليل بيانات الحساسات (Sensor Data Analytics)	رصد الاهتزازات والحرارة لاكتشاف مؤشرات الأعطال	تحسين استجابة فرق الصيانة وخفض التكاليف	Kim et al. (2013)

النماذج التنبؤية متعددة المتغيرات	دمج بيانات متعددة للتنبؤ بمواعيد الصيانة المثلى	رفع جاهزية النظام وتخطيط الصيانة بذكاء	Mallioris et al. (2024)

4 – الذكاء الاصطناعي في مراقبة الجودة

في مراحل ما بعد الإنتاج، تلعب تقنيات الذكاء الاصطناعي دورًا حاسمًا في التحقق من جودة المنتجات. تعتمد المصانع على أنظمة رؤية حاسوبية مدربة لتصوير المنتجات وكشف العيوب مثل التشققات أو الانحرافات الهندسية في الزمن الحقيقي. ووفق دراسة Chen et al. (2023)، وصلت دقة هذه الأنظمة إلى أكثر من 95%، متفوقة على الفحص اليدوي.

جدول ٣: الذكاء الاصطناعي في مراقبة الجودة

رقم	التقنية المستخدمة	الاستخدام التطبيقي	الفوائد المحققة	المراجع
1	الرؤية الحاسوبية (Computer Vision)	تحليل صور المنتجات النهائية لاكتشاف العيوب السطحية والبنيوية	تقليل نسبة المنتجات المعيبة وتحسين دقة الفحص	Chen et al. (2023)
2	تعلم الآلة (Machine Learning)	تصنيف المنتجات آليًا حسب مستوى الجودة والمعايير	تسريع عمليات الفرز وتقليل تدخل العنصر البشري	Dogan et al. (2021)
3	تحليل الصور الحرارية	اكتشاف العيوب غير المرئية في المنتجات المعدنية أو المركبة	ضمان جودة المنتج دون تدميره أثناء الفحص	Lawson et al. (2021)
4	الشبكات العصبية الالتفافية (CNNs)	الكشف التلقائي عن الشقوق أو الانحرافات الهندسية الدقيقة	رفع دقة الكشف وتقليل الأخطاء الناتجة عن الفحص اليدوي	Ciccone et al. (2023)

5– التوأمة الرقمية والتحكم الذكي

التوأمة الرقمية تمثل خطوة متقدمة في رقمنة الهندسة الميكانيكية، حيث يتم بناء نموذج افتراضي للمعدات أو المصنع ويتم ربطه ببيانات التشغيل اللحظية. تُستخدم تقنيات مثل التعلم المعزز لتحسين سلوك النموذج الافتراضي وتقييم أدائه تحت سيناريوهات مختلفة. وهذا ما يُستخدم حاليًا في مصانع التعليم والهندسة الصناعية.(Balla et al., 2023)

النتائج

1. **التكامل بين الذكاء الاصطناعي والهندسة الميكانيكية أصبح ضرورة:**

أثبت التحليل أن الذكاء الاصطناعي لم يعد خيارًا إضافيًا، بل عنصرًا أساسيًا في تحسين التصميم والتصنيع والصيانة داخل القطاعات الميكانيكية. وقد أظهرت معظم الدراسات أن دمج تقنيات مثل التعلم الآلي والرؤية الحاسوبية أدى إلى تحسينات ملموسة في الكفاءة والجودة (Carvalho et al., 2019.؛ Akay et al., 2020)

2. **تحسين دقة التصميم وسرعة التطوير:**

ساعدت تقنيات مثل التعلم العميق ونماذج اللغة الكبيرة (LLMs) في أتمتة تحليل المتطلبات التصميمية وتوليد حلول هندسية ذكية، مما أدى إلى تقليل زمن التطوير وتحسين دقة النماذج الأولية.(Göpfert et al., 2024)

3. **مراقبة جودة متقدمة وتقليل الفاقد:**

وفّرت الرؤية الحاسوبية وتقنيات تعلم الآلة أدوات دقيقة لمراقبة جودة المنتجات في خطوط الإنتاج، مما أسهم في تقليل الفاقد وتحقيق جودة متسقة(Dogan et al., 2021؛Chen et al., 2023).

4. **الصيانة التنبؤية أدت إلى تقليل الأعطال المفاجئة:**

كشفت نتائج التحليل أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية ساعد على خفض التكاليف التشغيلية، وزيادة جاهزية المعدات، وتقليل التوقفات غير المخططة(Sanzana et al., 2022) ؛(Alajmi et al, 2020).

5. **أهمية توفر البنية التحتية الرقمية:**

نجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعي في البيئات الميكانيكية يتطلب وجود حساسات دقيقة، بيانات قابلة للتحليل، وشبكات تواصل صناعية ذكية(Diez-Olivan et al., 2019) ؛(Gilles et al., 2023).

التوصيات:

1. **إدماج الذكاء الاصطناعي في المناهج التعليمية للهندسة الميكانيكية:**

يجب تحديث البرامج الأكاديمية لتشمل موضوعات في تعلم الآلة، البرمجة، تحليل البيانات، والرؤية الحاسوبية، بهدف إعداد مهندسين قادرين على التعامل مع بيئة صناعية ذكية .

2. **تطوير البنية التحتية الرقمية في المؤسسات الصناعية:**

يُوصى بتهيئة خطوط الإنتاج لتكون قادرة على جمع البيانات وتحليلها، مع توفير أنظمة مراقبة متكاملة ومرتبطة بمنصات تحليل ذكية .

3. **تشجيع الأبحاث التطبيقية بين الجامعات والمصانع:**

من الضروري خلق شراكات بين المؤسسات الأكاديمية والصناعية، لتجريب وتطوير نماذج الذكاء الاصطناعي في بيئات إنتاج واقعية .

4. **اعتماد أنظمة التوأمة الرقمية في التخطيط والتشغيل:**

توصي الدراسة بدمج النماذج الرقمية في جميع مراحل دورة حياة المنتج، بما يسهم في تقليل الأخطاء وتحسين اتخاذ القرار الهندسي .

5. **تهيئة الكوادر البشرية وتأهيلها للتعامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي:**

لا بد من إقامة برامج تدريب مستمرة للمهندسين والفنيين، تواكب التحول الرقمي وتقلص الفجوة بين المعرفة التقنية والذكاء الاصطناعي

الخاتمة:

خلص هذا البحث النظري إلى أن الذكاء الاصطناعي يشكل نقلة نوعية في مسار الهندسة الميكانيكية، حيث لم يعد دوره مقتصرًا على التحسينات الجزئية، بل أصبح جزءًا لا يتجزأ من البنية الأساسية للتصميم والتصنيع والصيانة. وقد أظهر التحليل أن التطبيقات العملية لتقنيات الذكاء الاصطناعي تُسهم في تعزيز الأداء، تقليل التكاليف، وتسريع العمليات الصناعية، مما يعكس أهمية تبني هذه التقنيات ضمن استراتيجيات المؤسسات الصناعية والتعليمية.

ومع أن التحديات تظل قائمة – خاصة ما يتعلق بالبنية التحتية والمهارات البشرية – فإن الآفاق المستقبلية تبشّر بمرحلة جديدة من الهندسة الذكية التي تعتمد على البيانات، وتحاكي بيئة التشغيل في الزمن الحقيقي، وتُدار بأنظمة قادرة على التعلم والتطور ذاتيًا.

قائمة المراجع:

Akay, H., Xu, K., & Zhou, Y. (2020). Design transcription: Deep learning-based design feature representation. CIRP Annals, 69(1), 153–156. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.04.005

Alajmi, M. S., Alsulami, H., & Alotaibi, N. (2020). Predicting the tool wear of a drilling process using novel machine learning XGBoost-SDA. Materials, 13(17), 3829. https://doi.org/10.3390/ma13173829

Ambadekar, P. K., Gupta, S., & Yadav, P. (2023). Artificial intelligence and its relevance in mechanical engineering from Industry 4.0 perspective. Australian Journal of Mechanical Engineering. https://doi.org/10.1080/14484846.2023.2205809

Balla, M., Koch, M., & Zimmermann, D. (2023). Educational case studies: Creating a digital twin of the production line in TIA Portal, Unity, and Game4Automation framework. Sensors, 23(3), 1267. https://doi.org/10.3390/s23031267

Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. D. P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. Computers & Industrial Engineering, 137, 106024. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024

Chen, Y. L., Wang, C. C., & Lin, T. H. (2023). Vision-based robotic object grasping—a deep reinforcement learning approach. Machines, 11(2), 189. https://doi.org/10.3390/machines11020189

Ciccone, F., Gargiulo, S., & Laudante, E. (2023). Optimization with artificial intelligence in additive manufacturing: A systematic review. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 45(3), 122. https://doi.org/10.1007/s40430-023-04240-6

Diez-Olivan, A., Del Ser, J., Galar, D., & Sierra, B. (2019). Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. Information Fusion, 50, 92–111. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.10.005

Dogan, A., Yildiz, A. R., & Tufekci, E. (2021). Machine learning and data mining in manufacturing. Expert Systems with Applications, 184, 115512. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115512

Dwivedi, Y. K., Hughes, D. L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., ... & Williams, M. D. (2021). Artificial intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. International Journal of Information Management, 57, 101994. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002

Gilles, O., Cherrier, S., & Didier, P. (2023). Securing IIoT communications using OPC UA pub-sub and trusted platform modules. Journal of Systems Architecture, 135, 102848. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2023.102848

Göpfert, J., Krishnaswamy, A., & Shah, J. J. (2024). Opportunities for large language models and discourse in engineering design. Energy and AI, 9, 100221. https://doi.org/10.1016/j.egyai.2023.100221

Kim, J., Lee, D., & Bae, S. (2013). Evaluation of the adequacy of maintenance tasks using the failure consequences of railroad vehicles. Reliability Engineering & System Safety, 115, 70–79. https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.01.005

Lawson, C. E., Martí, J. M., Radivojević, T., Jovanovic, M., & Stephanopoulos, G. (2021). Machine learning for metabolic engineering: A review. Metabolic Engineering, 63, 34–60. https://doi.org/10.1016/j.ymben.2020.11.005

Mallioris, P., Terzi, S., & Cavalieri, S. (2024). Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 44, 117–131. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.10.001

Papalambros, P. Y. (2002). The optimization paradigm in engineering design: Promises and challenges. Computer-Aided Design, 34(12), 939–951. https://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00187-X

Rashid, A. B., Rehman, S. U., & Alam, T. (2024). AI revolutionizing industries worldwide: A comprehensive overview of its diverse applications. Hybrid Advances, 3, 100089. https://doi.org/10.1016/j.hyad.2024.100089

Sanzana, M. R., Zúñiga, J. A., & Figueroa, C. A. (2022). Application of deep learning in facility management and maintenance for heating, ventilation, and air conditioning. Automation in Construction, 138, 104247. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104247

ISSN: 2663-5798 || Arab Journal for Scientific Publishing

الإصدار الثامن – العدد الثاني والثمانون
تاريخ الإصدار: 2 – آب – 2025م
www.ajsp.net

"The Role and Impact of Artificial Intelligence in Mechanical Engineering Fields: An Analysis of Applications and Challenges"

Researcher:

Eng / Mohammad Ahmad ALawadhi

The Public Authority for Applied Education & Training (Construction Training Institute)

Abstract:

In recent decades, artificial intelligence (AI) technologies have rapidly evolved, becoming a core pillar of digital transformation across engineering fields. This study aims to provide a theoretical analysis of AI's impact on mechanical engineering, with a particular focus on its applications in design, manufacturing, and maintenance. Adopting a descriptive-analytical approach, the research is based on reviewing and synthesizing academic literature published between 2018 and 2024.

The study explores the most widely used AI tools—such as machine learning, computer vision, deep learning, and artificial neural networks—and how these tools are integrated to enhance the performance and efficiency of mechanical processes. It addresses concepts like predictive maintenance, intelligent control, and performance simulation, illustrating how these technologies have contributed to reducing costs, increasing reliability, and improving product quality in industrial operations.

The paper presents comparative analyses of selected case studies from prior research, supported by analytical tables and real-world examples from industrial environments. The findings highlight that the integration of AI within mechanical engineering is no longer optional but essential for keeping pace with the modern market's demands and technological complexity.

The study concludes with academic and professional recommendations, emphasizing the need to promote interdisciplinary education and to encourage mechanical engineers to develop skills in programming and data analysis. Additionally, it calls for increased investment in applied AI research within mechanical contexts, aiming to secure a smarter and more sustainable future for the industrial sector.

Keywords: Artificial Intelligence, Mechanical Engineering, Machine Learning, Predictive Maintenance, Smart Manufacturing.