

جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

قسم / تخصص ادارة العمال

عنوان البحث

أثر تطبيق التحول الرقمي باستخدام نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) على تحسين الأداء التشغيلي في صناعة الأسلاك الحديدية: دراسة تطبيقية على شركة اتحاد مصانع الأسلاك بالمملكة العربية السعودية

أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES - Manufacturing Execution System) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي لعمليات تصنيع الأسلاك الحديدية: (Steel Wire Downstream Manufacturing) دراسة تطبيقية على خطوط سحب وجلفنة الأسلاك بشركة اتحاد مصانع الأسلاك.

إعداد الطالب:

ابراهيم سلام

إشراف:

د/فايز جراد ، د/ الفصيل حسن

العام الدراسي:

2026

فهرس المحتويات

خطة إعداد رسالة الماجستير وتقسيم الملفات		
الملف	المحتوى	عدد الصفحات المتوقع
01	مقدمة الدراسة	3 صفحات (3-5)
02	مشكلة الدراسة	3 صفحات (5-7)
03	أهمية الدراسة	3 صفحات (7-9)
04	أهداف الدراسة	3 صفحات (9-11)
05	تساؤلات الدراسة	صفحتان (12-14)
06	فرضيات الدراسة	4 صفحات (14-17)
07	الدراسات السابقة	57 صفحة (17-74)
08	الفجوة البحثية	2 صفحات (75-76)
09	المنطلقات النظرية	16 صفحات (77-93)
10	المنهجية وطرق البحث	5 صفحات (94-98)
11	أداة الدراسة/ أساليب التحليل الإحصائي	4 صفحات (99-102)
12	حدود الدراسة/ مجتمع وعينة الدراسة	صفحتان (102-104)
13	المراجع	صفحتان (105-107)

مقدمة الدراسة

يشهد العالم في الوقت الراهن تطورًا متسارعًا في مختلف القطاعات الصناعية نتيجة الثورة التقنية التي غيرت بصورة جوهرية أساليب إدارة وتشغيل المصانع. ولم يعد نجاح المنشآت الصناعية يعتمد على امتلاك المعدات الحديثة أو زيادة الطاقات الإنتاجية فحسب، بل أصبح مرتبطًا بقدرتها على إدارة العمليات التشغيلية (Operational Processes) بكفاءة، والاستفادة من التقنيات الرقمية في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance)، ورفع مستوى الإنتاجية (Productivity)، وتقليل الهدر (Waste)، وتعزيز القدرة على اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making) في الوقت المناسب. وقد أدى هذا التحول إلى ظهور مفهوم المصنع الذكي (Smart Factory)، الذي يعتمد على التكامل بين الأنظمة الرقمية والعمليات الصناعية لتحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية والاستدامة، ضمن إطار الصناعة الرابعة (Industry 4.0).

وتُعد الصناعات التحويلية (Manufacturing Industry) من أكثر القطاعات تأثرًا بهذا التحول، نظرًا لاعتمادها على عمليات إنتاجية مترابطة تتطلب دقة عالية في التخطيط والتنفيذ والمتابعة. ويؤدي أي انحراف في إحدى مراحل الإنتاج إلى تأثير مباشر على جودة المنتج النهائي، وزيادة الفاقد، وارتفاع تكاليف التشغيل، وانخفاض القدرة على الوفاء بمتطلبات العملاء. ولذلك اتجهت المؤسسات الصناعية حول العالم إلى تبني الحلول الرقمية الحديثة التي تتيح مراقبة العمليات الإنتاجية (Production Processes) بصورة لحظية، وتحليل البيانات التشغيلية (Operational Data)، ودعم متخذي القرار بالمعلومات الدقيقة التي تساعد على تحسين الأداء ورفع كفاءة استغلال الموارد.

وتحتل صناعة الأسلاك الحديدية (Steel Wire Manufacturing) مكانة مهمة ضمن الصناعات التحويلية، لما لها من ارتباط مباشر بالعديد من القطاعات الاقتصادية، وفي مقدمتها قطاع التشييد والبناء، وقطاع الطاقة، وقطاع البنية التحتية، والقطاع الزراعي، بالإضافة إلى الصناعات المعدنية والهندسية المختلفة. وتتميز هذه الصناعة بتعدد مراحلها الإنتاجية وتشابك عملياتها التشغيلية، حيث تبدأ العملية باستلام لفائف قضبان الأسلاك (Wire Rod)، ثم تمر بمراحل سحب الأسلاك (Wire Drawing) للوصول إلى الأقطار المطلوبة، يعقبها تنفيذ عمليات المعالجة الحرارية (Annealing)، ثم التخليل وإزالة الأكاسيد (Pickling)، ثم الجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing)، وصولًا إلى تصنيع مجموعة متنوعة من المنتجات النهائية، مثل الأسلاك المجلفنة، وشبك السياج، والسلك الشائك، وعلاقات الملابس، وغيرها من المنتجات التي تتطلب مستويات مرتفعة من الجودة والاستقرار التشغيلي.

وتُعد عمليات سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) من أكثر المراحل تأثيرًا في جودة المنتج النهائي، نظرًا لما تتطلبه من دقة في ضبط المتغيرات التشغيلية، مثل سرعات السحب، وحالة قوالب السحب (Drawing Dies)، وخصائص مواد التشحيم، ودرجات حرارة أحواض الجلفنة، وزمن غمر الأسلاك، وسمك طبقة الزنك، إضافة إلى المحافظة على استمرارية التشغيل وتقليل التوقفات غير المخططة (Unplanned Downtime) كما أن هذه العمليات

تتم في بيئة صناعية تتسم بارتفاع درجات الحرارة، وانتشار الأبخرة وبودرة السحب، وكثافة حركة المواد، مما يزيد من أهمية تطبيق معايير السلامة والصحة المهنية (Occupational Health and Safety) ، ومتابعة بيئة العمل بصورة مستمرة.

وعلى الرغم من التطور الكبير في معدات الإنتاج، فإن العديد من المنشآت الصناعية ما زالت تعتمد على أساليب تقليدية في متابعة العمليات التشغيلية، مثل التقارير الورقية، أو الإدخال اليدوي للبيانات، أو جداول البيانات المنفصلة، وهو ما يؤدي إلى تأخر اكتشاف المشكلات التشغيلية، وصعوبة تحديد أسباب الانحرافات، وضعف القدرة على تحليل البيانات والاستفادة منها في اتخاذ القرارات. وينعكس ذلك بصورة مباشرة على معدلات الإنتاج، ونسب الهدر، وجودة المنتجات، وكفاءة استخدام المواد الخام والطاقة والموارد البشرية.

وفي المقابل، شهدت السنوات الأخيرة انتشارًا واسعًا لتطبيقات التحول الرقمي (Digital Transformation) داخل المصانع، بهدف إنشاء بيئة إنتاجية تعتمد على البيانات الفورية، وتتيح متابعة العمليات التشغيلية بصورة دقيقة، وربط خطوط الإنتاج بالإدارة التنفيذية، بما يساهم في تحسين الرقابة على الأداء، وسرعة اكتشاف المشكلات، ودعم عمليات التخطيط والإنتاج والصيانة والجودة. كما اتجهت المؤسسات الصناعية إلى تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) ، التي تركز على إزالة الأنشطة التي لا تضيف قيمة، وتقليل الهدر في جميع عناصر العملية الإنتاجية، وتحسين تدفق المواد والمعلومات، وتعظيم الاستفادة من الإمكانيات المتاحة.

ويُعد التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) أحد أبرز الاتجاهات الحديثة في الإدارة الصناعية، حيث يتيح هذا التكامل الاستفادة من البيانات التشغيلية في تحديد مصادر الهدر، وقياس الأداء بصورة مستمرة، وتحسين كفاءة استغلال المعدات والموارد، ورفع جودة المنتجات، وتقليل زمن الاستجابة للمشكلات التشغيلية. كما يساهم في بناء ثقافة مؤسسية تعتمد على التحسين المستمر واتخاذ القرار المبني على البيانات، وهو ما يمثل أحد المرتكزات الأساسية للمصانع الحديثة.

وتأتي هذه الدراسة في إطار مشروع التحول الرقمي (Digital Transformation) الذي تعمل شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK) على تنفيذه ضمن خطتها لتطوير الأداء التشغيلي، حيث تم اختيار خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) لتكون المرحلة الأولى من التطبيق، نظرًا لما تمثله من أهمية محورية في سلسلة القيمة (Value Chain) ، وتأثيرها المباشر في جودة المنتجات النهائية وكفاءة الإنتاج. كما يتزامن تنفيذ هذا المشروع مع تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) ، بهدف بناء بيئة تشغيلية أكثر كفاءة تعتمد على إزالة الهدر، وتحسين تدفق العمليات، والاستفادة من البيانات التشغيلية في دعم اتخاذ القرار.

وتسعى هذه الدراسة إلى تقديم نموذج تطبيقي يوضح أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي

(Operational Performance) داخل خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing)، وذلك من خلال دراسة واقع التشغيل قبل التطبيق وبعده، وتحليل أثر هذا التكامل في مؤشرات الأداء التشغيلي (Operational Performance Indicators)، مثل الإنتاجية، وجودة المنتج، وتقليل الهدر، ورفع كفاءة المعدات الشاملة (Overall Equipment Effectiveness - OEE)، وتحسين استغلال الموارد البشرية، بما يسهم في دعم تنافسية الشركة، ويقدم إطارًا عمليًا يمكن الاستفادة منه في المنشآت العاملة في الصناعات التحويلية للأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing) والصناعات المعدنية المشابهة.

مشكلة الدراسة (Research Problem)

تواجه المؤسسات الصناعية في الوقت الحالي ضغوطاً متزايدة لرفع كفاءة عملياتها الإنتاجية وتحسين جودة منتجاتها، مع المحافظة على خفض تكاليف التشغيل وتعزيز قدرتها التنافسية. ورغم التطور الكبير في معدات الإنتاج والتقنيات الصناعية، إلا أن العديد من المصانع ما زالت تعاني من تحديات تشغيلية تؤثر بصورة مباشرة في مستوى الأداء التشغيلي (Operational Performance) والإنتاجية، نتيجة الاعتماد على أساليب تقليدية في متابعة العمليات التشغيلية (Operational Processes)، وجمع البيانات التشغيلية (Operational Data) وتحليلها، الأمر الذي يؤدي إلى بطء اكتشاف المشكلات وصعوبة اتخاذ القرارات المناسبة في الوقت المناسب.

وتعد صناعة الأسلاك الحديدية (Steel Wire Manufacturing) من الصناعات التي تتطلب مستوى عاليًا من الدقة والانضباط التشغيلي، نظرًا لتعدد مراحل الإنتاج وترابطها واعتماد كل مرحلة على جودة وكفاءة المرحلة السابقة. ويؤدي أي خلل في إحدى العمليات الإنتاجية إلى تأثير مباشر في جودة المنتج النهائي، وزيادة نسب الهدر، وارتفاع تكاليف التشغيل، وانخفاض الإنتاجية، وتأخر تنفيذ طلبات العملاء.

وتواجه خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) بصورة خاصة مجموعة من التحديات التشغيلية التي تتطلب المتابعة المستمرة واتخاذ القرارات السريعة، ومن أبرزها تعدد أسباب التوقفات غير المخططة (Unplanned Downtime)، وارتفاع نسب الهدر (Scrap Rate) الناتج عن عمليات السحب والجلفنة، وصعوبة المتابعة الدقيقة للإنتاج بصورة لحظية، إضافة إلى الحاجة المستمرة لمراقبة جودة المنتج في جميع مراحل التصنيع، وضبط استهلاك المواد الخام، وتحسين كفاءة استخدام المعدات والموارد البشرية.

كما تتميز بيئة العمل داخل هذه الخطوط بوجود عوامل تشغيلية خاصة، مثل ارتفاع درجات الحرارة في مناطق الجلفنة، وانتشار بودة السحب والأبخرة الناتجة عن العمليات الصناعية، وكثافة حركة المواد الخام والمنتجات تحت التشغيل، وهو ما يجعل المحافظة على السلامة والصحة المهنية (Occupational Health and Safety)، ومراقبة أداء العاملين بصورة مستمرة، من المتطلبات الأساسية لتحقيق الاستقرار التشغيلي وتقليل المخاطر المهنية.

ومن خلال الخبرة العملية للباحث بصفته مديرًا للتصنيع في شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK)، ومن خلال المتابعة اليومية لمؤشرات الأداء الرئيسة (Key Performance Indicators - KPIs) في المصانع، تبين وجود عدد من التحديات التشغيلية التي تؤثر في كفاءة الأداء، ومن أهمها محدودية الاستفادة من البيانات التشغيلية في دعم اتخاذ القرار، وصعوبة الربط الفوري بين بيانات الإنتاج والجودة والصيانة، إضافة إلى الحاجة إلى نظام متكامل يمكنه توفير معلومات دقيقة ولحظية عن أداء خطوط الإنتاج، بما يساعد على سرعة اكتشاف الانحرافات التشغيلية وتحليل أسبابها واتخاذ الإجراءات التصحيحية المناسبة.

وفي الوقت نفسه، بدأت الشركة تنفيذ مشروع للتحويل الرقمي (Digital Transformation) يعتمد على تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) بالتوازي مع تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، بهدف تطوير بيئة العمل، وتحسين تدفق العمليات الإنتاجية، وتقليل الهدر، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتحسين جودة المنتجات. إلا أن نجاح هذا المشروع يتطلب وجود دراسة علمية تقيس أثر هذا التكامل على الأداء التشغيلي، وتحدد مدى مساهمته في معالجة التحديات التشغيلية التي تواجه خطوط سحب وجلفنة الأسلاك.

وتكمن مشكلة الدراسة في عدم وجود دراسة تطبيقية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك تقيس بصورة علمية أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) لخطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing)، وقياس انعكاس هذا التكامل على مؤشرات الأداء التشغيلية، مثل الإنتاجية (Productivity)، وتقليل الهدر، وتحسين جودة المنتج، ورفع كفاءة المعدات الشاملة (Overall Equipment Effectiveness - OEE)، وتحسين بيئة العمل، ودعم اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making). وانطلاقًا من ذلك، تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن التساؤل الرئيس الآتي:

ما أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) لخطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك؟

وينبثق عن هذا التساؤل عدد من التساؤلات الفرعية التي سيتم تناولها في أجزاء لاحقة من الدراسة، والمتعلقة بقياس أثر هذا التكامل على الإنتاجية، وجودة المنتج، وتقليل الهدر، ورفع كفاءة تشغيل المعدات، وتحسين استخدام الموارد، وتعزيز السلامة وبيئة العمل.

أهمية الدراسة (Significance of the Study)

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من أهمية الموضوع الذي تناوله، حيث تسلط الضوء على أحد الاتجاهات الحديثة في تطوير الأداء الصناعي، والمتمثل في التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، وذلك في بيئة صناعية حقيقية تتمثل في شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK). وتأتي أهمية الدراسة في ظل التوجه المتزايد نحو التحول الرقمي (Digital Transformation) في القطاع الصناعي، وما يصاحبه من حاجة إلى تطوير أساليب إدارة العمليات الإنتاجية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتقليل الهدر، ورفع مستوى الإنتاجية (Productivity) والجودة (Quality). وتنقسم أهمية الدراسة إلى جانبين رئيسيين، هما الأهمية العلمية (Theoretical Significance) والأهمية التطبيقية (Practical Significance).

أولاً: الأهمية العلمية (Theoretical Significance)

تتمثل الأهمية العلمية لهذه الدراسة في مساهمتها في إثراء المعرفة العلمية المتعلقة بتطبيقات التحول الرقمي (Digital Transformation) في القطاع الصناعي، من خلال دراسة أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل بيئة تصنيع الأسلاك الحديدية (Steel Wire Manufacturing). وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت كل موضوع بصورة مستقلة، فإن الدراسات التي بحثت أثر التكامل بينهما داخل الصناعات المعدنية (Metal Manufacturing)، وبشكل خاص الصناعات التحويلية للأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing)، ما تزال محدودة، الأمر الذي يمنح هذه الدراسة قيمة علمية تتمثل في الإسهام في سد جانب من هذه الفجوة البحثية.

كما تسهم الدراسة في توسيع الأدبيات العلمية المتعلقة بإدارة العمليات (Operations Management) ، من خلال تقديم نموذج تطبيقي يوضح العلاقة بين التحول الرقمي (Digital Transformation) والتحسين المستمر (Continuous Improvement)، وكيفية توظيف البيانات التشغيلية (Operational Data) في دعم اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making) وتحسين الأداء داخل خطوط الإنتاج.

ومن المتوقع أن تشكل نتائج الدراسة مرجعًا علميًا يمكن الاستفادة منه في الدراسات المستقبلية التي تتناول تطبيقات أنظمة إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution Systems)، أو التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، أو المصانع الذكية (Smart Factories)، أو الصناعة الرابعة (Industry 4.0)، أو تطوير نظم إدارة الإنتاج ورفع كفاءة الأداء التشغيلي في الصناعات التحويلية.

وتبرز أهمية الدراسة كذلك في ربط المفاهيم النظرية بالتطبيق العملي، حيث تستند إلى مشروع حقيقي يجري تنفيذه داخل إحدى الشركات الصناعية الرائدة في المملكة العربية السعودية، الأمر الذي يضفي على نتائجها درجة عالية من الواقعية، ويعزز إمكانية الاستفادة منها في تطوير المعرفة العلمية المتعلقة بالإدارة الصناعية الحديثة.

ثانيًا: الأهمية التطبيقية (Practical Significance)

تنبع الأهمية التطبيقية لهذه الدراسة من كونها تعتمد على دراسة تطبيقية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK)، وهي إحدى الشركات الصناعية المتخصصة في إنتاج الأسلاك ومنتجاتها، حيث يجري تنفيذ مشروع للتحول الرقمي (Digital Transformation) بالتزامن مع تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) بهدف تطوير الأداء التشغيلي (Operational Performance) ورفع كفاءة العمليات الإنتاجية.

ومن المتوقع أن تسهم نتائج الدراسة في مساعدة الإدارة العليا بالشركة على تقييم أثر المشروع بصورة علمية، من خلال قياس انعكاسه على مؤشرات الأداء التشغيلي (Operational Performance Indicators)، مثل زيادة الإنتاجية، وتقليل نسب الهدر، وتحسين جودة المنتجات، ورفع كفاءة المعدات الشاملة (Overall Equipment Effectiveness - OEE)، وتقليل التوقفات غير المخططة (Unplanned Downtime)، وتحسين استغلال الموارد البشرية والمواد الخام.

كما يمكن أن تسهم الدراسة في دعم متخذي القرار عند التخطيط لتوسيع تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) ليشمل بقية خطوط الإنتاج داخل الشركة، وذلك بالاعتماد على نتائج علمية موثقة توضح نقاط القوة وفرص التحسين، وتساعد على وضع خطط مستقبلية أكثر فاعلية للتحول الرقمي.

ومن الناحية العملية، يمكن الاستفادة من نتائج الدراسة في إعداد مؤشرات أداء رئيسية - (Key Performance Indicators - KPIs) أكثر دقة، وتحسين آليات متابعة العمليات الإنتاجية، وتعزيز التكامل بين إدارات الإنتاج والجودة والصيانة والمستودعات والسلامة، بما ينعكس إيجاباً على مستوى الأداء المؤسسي وتحقيق أهداف الشركة الإستراتيجية.

ولا تقتصر الاستفادة من نتائج الدراسة على شركة اتحاد مصانع الأسلاك فحسب، بل يمكن أن تمثل مرجعاً عملياً للشركات العاملة في قطاع الصناعات المعدنية (Metal Manufacturing) والصناعات التحويلية للأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing)، والتي تسعى إلى تطوير عملياتها الإنتاجية من خلال تبني الحلول الرقمية ومنهجيات التحسين المستمر، كما يمكن أن يستفيد منها الباحثون والجهات الأكاديمية عند إجراء دراسات مستقبلية في مجال الإدارة الصناعية والتحول الرقمي.

وتكتسب الدراسة أهمية إضافية من توافقها مع التوجهات الوطنية للمملكة العربية السعودية، ولا سيما رؤية المملكة 2030 (Saudi Vision 2030)، وبرنامج مصانع المستقبل (Future Factories Program)، اللذين يهدفان إلى تسريع التحول الرقمي، ورفع كفاءة القطاع الصناعي، وزيادة مساهمة الصناعة في التنمية الاقتصادية، الأمر الذي يجعل نتائج الدراسة ذات قيمة علمية وعملية، وقابلة للاستفادة منها على مستوى المؤسسات الصناعية وصناع القرار.

أهداف الدراسة (Research Objectives)

تسعى هذه الدراسة إلى تحليل أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK)، وذلك من خلال دراسة الواقع التشغيلي الحالي، وتحليل أثر تطبيق الحلول الرقمية ومنهجيات التحسين المستمر على كفاءة العمليات الإنتاجية، وجودة المنتجات، واستغلال الموارد.

وانطلاقاً من ذلك، تم تقسيم أهداف الدراسة إلى هدف عام (General Objective) وعدد من الأهداف الخاصة (Specific Objectives)، كما يأتي:

أولاً: الهدف العام (General Objective)

يتمثل الهدف العام لهذه الدراسة في:

دراسة أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) لخطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك، وقياس مدى مساهمة هذا التكامل في رفع الإنتاجية (Productivity)، وتقليل الهدر (Waste)، وتحسين جودة المنتجات (Quality)، وتعزيز كفاءة استخدام الموارد، ودعم اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making).

ثانياً: الأهداف الخاصة (Specific Objectives)

لتحقيق الهدف العام، تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف الفرعية الآتية:

1. دراسة الواقع التشغيلي الحالي لخطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك، وتحليل طبيعة العمليات الإنتاجية والتحديات التي تؤثر في الأداء التشغيلي (Operational Performance).
2. تحديد أبرز مصادر الهدر (Waste) في خطوط الإنتاج، وتحليل تأثيرها في الإنتاجية (Productivity)، وجودة المنتجات، وتكاليف التشغيل.
3. دراسة دور نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) في تحسين متابعة العمليات الإنتاجية، وتوفير البيانات التشغيلية (Operational Data) الدقيقة، وتعزيز سرعة ودقة اتخاذ القرارات التشغيلية.
4. دراسة دور منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين تدفق العمليات الإنتاجية، وتقليل الأنشطة التي لا تضيف قيمة، وتحسين استغلال الموارد البشرية والمادية.
5. تحليل أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين مؤشرات الأداء التشغيلي (Operational Performance Indicators) داخل خطوط الإنتاج.
6. قياس أثر التكامل بين النظام والمنهجية في :

- رفع الإنتاجية (Productivity).
- تقليل نسب الهدر (Scrap Rate).
- تحسين جودة المنتجات (Quality).

- تقليل التوقفات غير المخططة. (Unplanned Downtime)
- رفع كفاءة المعدات الشاملة. (Overall Equipment Effectiveness - OEE)
- 7. دراسة أثر تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين إدارة الموارد البشرية، ورفع كفاءة متابعة العاملين، وتعزيز الالتزام بمتطلبات السلامة والصحة المهنية (Occupational Health and Safety) داخل بيئة العمل .
- 8. تقييم مدى مساهمة النظام في تحسين التكامل بين إدارات الإنتاج، والجودة، والصيانة، والمستودعات، بما يسهم في تحسين انسيابية العمليات التشغيلية، وتعزيز تبادل البيانات بين الإدارات المختلفة .
- 9. تحديد المعوقات الفنية والتنظيمية التي قد تواجه تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) داخل خطوط الإنتاج، واقتراح الحلول المناسبة لمعالجتها .
- 10. تقديم مجموعة من التوصيات العملية التي يمكن أن تساعد شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK) في تعظيم الاستفادة من مشروع التحول الرقمي (Digital Transformation) ، ودعم التوسع في تطبيقه على بقية خطوط الإنتاج مستقبلاً.

تساؤلات الدراسة (Research Questions)

انطلاقاً من مشكلة الدراسة وأهدافها، تسعى هذه الدراسة إلى استقصاء أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي

(Operational Performance) داخل خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك. (United Wire Factories Company – ASLAK)

ولتحقيق ذلك، تحاول الدراسة الإجابة عن التساؤل الرئيس الآتي:

التساؤل الرئيس (Main Research Question)

ما أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) لخطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك؟

وينبثق عن هذا التساؤل الرئيس عدد من التساؤلات الفرعية (Sub-Research Questions) كما يلي:

أولاً

ما واقع تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) داخل خطوط سحب الأسلاك والجلفنة بالغمر الساخن في شركة اتحاد مصانع الأسلاك؟

ثانياً

ما مستوى الأداء التشغيلي (Operational Performance) الحالي داخل خطوط سحب الأسلاك والجلفنة بالغمر الساخن، وذلك من حيث:

- الإنتاجية. (Productivity)
- جودة المنتجات. (Quality)
- نسبة الهدر. (Scrap Rate)
- التوقفات غير المخططة. (Unplanned Downtime)
- كفاءة المعدات الشاملة. (Overall Equipment Effectiveness - OEE)

ثالثاً

ما أثر تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل خطوط الإنتاج؟

رابعاً

ما أثر تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل خطوط الإنتاج؟

خامساً

ما أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين مؤشرات الأداء التشغيلي (Operational Performance Indicators) مقارنة بتطبيق كل منهما بصورة منفصلة؟

سادساً

إلى أي مدى يسهم التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في دعم اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making) داخل العمليات الإنتاجية؟

سابعاً

ما أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين التكامل بين إدارات الإنتاج، والجودة، والصيانة، والمستودعات داخل الشركة؟

ثامناً

ما أبرز التحديات الفنية والتنظيمية والبشرية التي قد تواجه تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، وما الحلول المقترحة لمعالجتها؟

تاسعاً

ما التوصيات التي يمكن أن تساهم في تعظيم الاستفادة من التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) بما يدعم التحول الرقمي (Digital Transformation) وتحسين الأداء التشغيلي في شركة اتحاد مصانع الأسلاك؟

فرضيات الدراسة (Research Hypotheses)

استناداً إلى مشكلة الدراسة، وأهدافها، وتساؤلاتها، والإطار النظري، والدراسات السابقة، فقد تم صياغة فرضيات الدراسة لاختبار العلاقة بين التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES - Manufacturing Execution System) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) بوصفهما المتغير المستقل، وبين الأداء التشغيلي (Operational Performance) بوصفه المتغير التابع.

وتتمثل فرضيات الدراسة فيما يأتي:

أولاً: الفرضية الرئيسية (Main Hypothesis)

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES - Manufacturing Execution System) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) وبين تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing) في شركة اتحاد مصانع الأسلاك (United Wire Factories Company – ASLAK).

ثانياً: الفرضيات الفرعية (Sub-Hypotheses)

الفرضية الأولى

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES - Manufacturing Execution System) وتحسين الإنتاجية (Productivity) داخل خطوط سحب الأسلاك والجلفنة بالغمر الساخن.

الفرضية الثانية

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) وتقليل نسبة الهدر (Scrap Rate) في العمليات الإنتاجية.

الفرضية الثالثة

يسهم التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين جودة المنتجات (Quality) مقارنة بتطبيق كل منهما بصورة منفصلة.

الفرضية الرابعة

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) ورفع كفاءة المعدات الشاملة (Overall Equipment Effectiveness - OEE).

الفرضية الخامسة

يسهم التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تقليل التوقفات غير المخططة (Unplanned Downtime) داخل خطوط الإنتاج.

الفرضية السادسة

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) وتحسين دقة وسرعة اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making).

الفرضية السابعة

يسهم التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تعزيز التكامل بين إدارات الإنتاج والجودة والصيانة والمستودعات داخل الشركة.

الفرضية الثامنة

يسهم التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين كفاءة استخدام الموارد البشرية والمادية داخل خطوط الإنتاج.

فرضيات العدم (Null Hypotheses)

ولأغراض التحليل الإحصائي، سيتم اختبار فرضيات العدم (Null Hypotheses) المقابلة لكل فرضية، والتي تنص على عدم وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين المتغيرات محل الدراسة، وذلك باستخدام الاختبارات الإحصائية المناسبة.

فعلى سبيل المثال:

H_0 : لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) وتحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance).

H_1 : توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) وتحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance).

الدراسات السابقة (Previous Studies)

تُعد الدراسات السابقة (Previous Studies) أحد أهم المكونات الرئيسية في البحث العلمي، إذ تمثل الأساس الذي يستند إليه الباحث في فهم واقع المعرفة العلمية المتعلقة بموضوع الدراسة، والتعرف على الاتجاهات البحثية الحديثة، والاستفادة من المناهج والأدوات التي استخدمتها الدراسات السابقة، وتحليل نتائجها، ومقارنتها بموضوع الدراسة الحالية. كما تساهم في بناء الإطار النظري (Theoretical Framework)، وتطوير النموذج المفاهيمي (Conceptual Framework)، وصياغة فرضيات الدراسة، واختيار المنهجية المناسبة، وتصميم أدوات جمع البيانات، وتفسير النتائج في ضوء الأدبيات العلمية ذات الصلة.

وتبرز أهمية الدراسات السابقة في مساعدة الباحث على تحديد الفجوة البحثية (Research Gap) التي لم تتناولها الدراسات السابقة بصورة كافية، وهو ما يبرر الحاجة إلى إجراء الدراسة الحالية، ويؤكد إسهامها العلمي في تطوير المعرفة في مجال إدارة العمليات (Operations Management)، والتحول الرقمي (Digital Transformation)، والصناعة الذكية (Smart Manufacturing).

ونظرًا لأن موضوع الدراسة يجمع بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES - Manufacturing Execution System)، ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، وتحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل الصناعات التحويلية للأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing)، فقد تم تصنيف الدراسات السابقة إلى أربعة محاور رئيسية، بما يحقق الترابط المنطقي بين موضوع الدراسة والأدبيات العلمية ذات العلاقة.

المحور الأول: الدراسات المتعلقة بالتحول الرقمي في القطاع الصناعي (Digital Transformation in Manufacturing)

يتناول هذا المحور الدراسات التي بحثت أثر التحول الرقمي (Digital Transformation) في تطوير العمليات الصناعية، وتحسين كفاءة الإنتاج، وتعزيز القدرة على اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making)، من خلال الاستفادة من البيانات التشغيلية (Operational Data)، وتقنيات الصناعة الرابعة (Industry 4.0)، وأنظمة التصنيع الذكية.

وقد أظهرت معظم الدراسات أن التحول الرقمي أصبح أحد أهم العوامل المؤثرة في رفع القدرة التنافسية للمؤسسات الصناعية، من خلال تحسين التكامل بين الأنظمة التشغيلية والإدارية، ورفع مستوى الشفافية في متابعة العمليات الإنتاجية، وتقليل الهدر، وتحسين جودة المنتجات، وزيادة سرعة الاستجابة للمتغيرات التشغيلية.

كما أوضحت هذه الدراسات أن نجاح مشروعات التحول الرقمي لا يعتمد على التكنولوجيا وحدها، وإنما يرتبط أيضًا بتطوير الثقافة التنظيمية، وتأهيل الموارد البشرية، وإعادة تصميم العمليات التشغيلية (Operational Processes) بما يتوافق مع متطلبات البيئة الصناعية الرقمية الحديثة.

المحور الثاني: الدراسات المتعلقة بنظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES)

ركزت الدراسات في هذا المحور على دور نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) في تحسين الرقابة على العمليات الإنتاجية، ومتابعة تنفيذ أوامر الإنتاج بصورة لحظية، وربط خطوط الإنتاج بالأنظمة الإدارية، وتوفير بيانات تشغيلية دقيقة تساعد في تحسين التخطيط والإنتاج والجودة والصيانة.

وأشارت غالبية الدراسات إلى أن تطبيق MES يساهم في تحسين كفاءة استخدام الموارد، وتقليل التوقفات غير المخططة (Unplanned Downtime)، ورفع دقة البيانات التشغيلية، وتحسين جودة المنتجات، وتعزيز القدرة على اتخاذ القرارات التشغيلية اعتمادًا على البيانات الفورية بدلًا من التقارير التقليدية.

وفي المقابل، أوضحت بعض الدراسات أن نجاح تطبيق MES يعتمد على توافر بنية تقنية مناسبة، وتكامل الأنظمة الرقمية، وتدريب العاملين، ودعم الإدارة العليا لمشروعات التحول الرقمي (Digital Transformation).

المحور الثالث: الدراسات المتعلقة بمنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)

تناولت الدراسات في هذا المحور أثر تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) داخل المؤسسات الصناعية، من خلال إزالة الأنشطة التي لا تضيف قيمة، وتقليل الهدر (Waste)، وتحسين تدفق العمليات الإنتاجية، ورفع كفاءة استغلال الموارد.

وأجمعت معظم الدراسات على أن تطبيق Lean Manufacturing يؤدي إلى تحسين الإنتاجية (Productivity)، وتقليل زمن دورة الإنتاج، وخفض المخزون تحت التشغيل، وتحسين جودة المنتجات (Quality)، ورفع مستوى رضا العملاء.

كما أكدت الدراسات أن نجاح تطبيق هذه المنهجية يعتمد بدرجة كبيرة على دعم الإدارة العليا، ومشاركة العاملين، وتطوير ثقافة التحسين المستمر (Continuous Improvement) داخل المؤسسة.

المحور الرابع: الدراسات المتعلقة بالتكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع ومنهجية التصنيع الرشيق (Integration of MES and Lean Manufacturing)

يُعد هذا المحور الأكثر ارتباطاً بموضوع الدراسة الحالية، حيث تناولت مجموعة من الدراسات العلاقة بين الأنظمة الرقمية (Digital Systems) ومنهجيات التحسين المستمر (Continuous Improvement)، وأشارت إلى أن التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) يساهم في تحقيق نتائج تشغيلية أفضل مقارنة بتطبيق كل منهما بصورة مستقلة.

وأوضحت هذه الدراسات أن البيانات التشغيلية الدقيقة التي يوفرها MES تساعد في تحديد مصادر الهدر (Waste) والانحرافات التشغيلية بصورة أكثر دقة، بينما تساهم Lean Manufacturing في تحليل هذه البيانات وتحويلها إلى مشروعات تحسين قابلة للتطبيق، مما يؤدي إلى رفع كفاءة العمليات الإنتاجية، وتحسين جودة المنتجات، وتقليل التكاليف التشغيلية، وتعزيز القدرة التنافسية للمؤسسات الصناعية.

ورغم أهمية هذه الدراسات، فإن معظمها ركز على قطاعات صناعية مثل صناعة السيارات، والصناعات الإلكترونية، والصناعات الدوائية، في حين لم تحظ الصناعات التحويلية للأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing) بالاهتمام الكافي، ولا سيما فيما يتعلق بدراسة أثر التكامل بين MES و Lean Manufacturing داخل خطوط سحب الأسلاك (Wire Drawing) والجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing)، وهو ما يمثل أحد المبررات الرئيسة لإجراء الدراسة الحالية.

عرض الدراسات وتحليلها (Presentation and Analysis of Previous Studies)

اعتمد هذا القسم على مجموعة من الدراسات العلمية الحديثة التي تناولت التحول الرقمي (Digital Transformation)، ونظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES)، ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، والتكامل بين التقنيات الرقمية ومنهجيات التحسين المستمر، وذلك لارتباطها المباشر بموضوع الدراسة الحالية.

وقد روعي في اختيار هذه الدراسات أن تكون منشورة في مجلات علمية محكمة، وحديثة نسبياً، وتمثل اتجاهات بحثية متنوعة في مجالات إدارة العمليات (Operations Management)، والصناعة الذكية (Smart Manufacturing)، والصناعة الرابعة

(Industry 4.0)، مع التركيز على الدراسات التي تناولت تحسين الأداء التشغيلي (Operational Performance) في البيئات الصناعية.

وتم تحليل هذه الدراسات وفق منهجية علمية موحدة، شملت أهداف كل دراسة، ومنهجها، وعينة الدراسة، وأدوات جمع البيانات، وأبرز النتائج، ومدى ارتباطها بموضوع البحث الحالي، وذلك تمهيداً لاستخلاص الفجوة البحثية (Research Gap) التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها، وبناء الإطار النظري والنموذج المفاهيمي للدراسة على أسس علمية راسخة.

الدراسة الأولى

Saad, Bahadori, Bhovar & Zhang (2023)

Industry 4.0 and Lean Manufacturing: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature and Key Recommendations for Future Research

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل واقع الأبحاث العلمية المتعلقة بالتكامل بين **Lean Manufacturing** وتقنيات **Industry 4.0**، والكشف عن الاتجاهات البحثية الرئيسية والفجوات العلمية التي ما زالت بحاجة إلى مزيد من الدراسة. واعتمد الباحثون على منهج المراجعة المنهجية للأدبيات (Systematic Literature Review)، حيث تم تحليل (60) بحثاً منشوراً في مجالات علمية محكمة وفق معايير علمية دقيقة.

وأظهرت نتائج الدراسة أن الأبحاث المتعلقة بالتكامل بين **Lean Manufacturing** وتقنيات **Industry 4.0** تركزت في خمسة محاور رئيسة، شملت العلاقة بين المنهجية والتقنيات الرقمية، وأثر هذا التكامل في الأداء التشغيلي، وأطر التطبيق، ودمجه مع منهجيات تحسين أخرى، إضافة إلى تطبيق التقنيات الرقمية داخل بيئات التصنيع الرشيق. كما أوضحت الدراسة أن الأدبيات الحالية تؤكد وجود علاقة تكاملية إيجابية بين المنهجين، إلا أن معظم الدراسات كانت نظرية أو مراجعات أدبية، بينما لا تزال الدراسات التطبيقية الميدانية محدودة، خاصة في الصناعات التحويلية المتخصصة.

ويرى الباحث أن هذه الدراسة تعد من أهم الدراسات المرجعية في موضوع البحث الحالي، لأنها تؤكد وجود حاجة علمية إلى إجراء دراسات تطبيقية تقيس أثر التكامل بين **Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing** داخل بيئات صناعية حقيقية، وهو ما يتوافق بصورة مباشرة مع موضوع الرسالة الحالية.

التعليق النقدي

على الرغم من القيمة العلمية الكبيرة لهذه الدراسة، إلا أنها اعتمدت على مراجعة الأدبيات العلمية دون إجراء تطبيق ميداني داخل منشأة صناعية، كما أنها لم تتناول قطاع صناعة الأسلاك الحديدية أو خطوط السحب والجلفنة بصورة مباشرة، ولم تبحث أثر التكامل بين MES وLean Manufacturing في بيئة إنتاجية حقيقية.

ومن هنا تأتي أهمية الدراسة الحالية، إذ تسعى إلى سد هذه الفجوة من خلال تطبيق عملي داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك، وقياس أثر هذا التكامل على مؤشرات الأداء التشغيلي في خطوط سحب وجلفنة الأسلاك.

الدراسة الثانية

Bianchini, Pellegrini, Rossi, Bellusci & Mora (2024)

Manufacturing Execution System Application within Manufacturing Small-Medium Enterprises towards Key Performance Indicators Development and Their Implementation in the Production Line

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تطوير منهجية عملية لتطبيق Manufacturing Execution System (MES) داخل إحدى المنشآت الصناعية متوسطة الحجم، مع التركيز على بناء إطار متكامل لمؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) وربطها مباشرة بخطوط الإنتاج، بما يساهم في دعم التحول الرقمي وتحسين الأداء التشغيلي داخل المصنع.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحثون على دراسة حالة تطبيقية (Case Study) داخل مصنع صناعي، حيث تم تنفيذ نظام MES بصورة فعلية وربطه بخطوط الإنتاج المختلفة، ثم تطوير منظومة لقياس مؤشرات الأداء التشغيلية اعتماداً على البيانات التي يتم جمعها بصورة لحظية من المعدات وخطوط الإنتاج. كما قامت الدراسة بتحليل البيانات التشغيلية قبل التطبيق وبعده لتقييم أثر النظام على الأداء الصناعي.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

- أدى تطبيق MES إلى إنشاء منظومة موحدة لجمع البيانات الصناعية بصورة لحظية، مما حسن دقة المعلومات المستخدمة في اتخاذ القرار .
- ساعد النظام في تحويل البيانات الضخمة الناتجة عن خطوط الإنتاج إلى معلومات تشغيلية قابلة للتحليل والاستخدام، الأمر الذي ساهم في تحسين الرقابة على العمليات الإنتاجية .
- ساهم تطبيق MES في تطوير مؤشرات أداء دقيقة لقياس الإنتاجية، واستهلاك الموارد، وأزمة التوقف، وكفاءة تشغيل المعدات، مما أتاح للإدارة متابعة الأداء بصورة مستمرة بدلاً من الاعتماد على التقارير التقليدية .
- بينت الدراسة أن نجاح تطبيق MES لا يعتمد فقط على الجانب التقني، بل يتطلب تحديد مؤشرات أداء مناسبة، وإشراك الإدارات المختلفة، وتأهيل العاملين لضمان الاستخدام الفعال للنظام .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بموضوع الرسالة الحالية، لأنها تناولت تطبيق MES بصورة عملية داخل مصنع حقيقي، مع التركيز على بناء منظومة متكاملة لمؤشرات الأداء الرئيسية.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في عدة نقاط، أهمها:

- الاعتماد على البيانات التشغيلية الفورية .
- استخدام مؤشرات الأداء لقياس كفاءة العمليات .
- ربط خطوط الإنتاج بالإدارة التنفيذية .
- تحسين جودة اتخاذ القرار .
- دعم مشروع التحول الرقمي داخل المصنع .

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها لا تقتصر على تطبيق MES فقط، بل تدرس أثر التكامل بين MES و Lean Manufacturing داخل خطوط Wire Drawing و Hot-Dip Galvanizing، وهو جانب لم تتناوله هذه الدراسة بصورة مباشرة.

التعليق النقدي

على الرغم من القيمة العلمية الكبيرة للدراسة، فإنها ركزت على منشأة صناعية متوسطة الحجم، ولم تتناول الصناعات المعدنية الثقيلة أو صناعة الأسلاك الحديدية، كما أنها ركزت بصورة أساسية على تصميم وتطوير مؤشرات الأداء، دون دراسة أثر دمج MES مع منهجيات التحسين المستمر مثل **Lean Manufacturing**.

كما لم تبحث الدراسة تأثير هذا التكامل على مؤشرات تشغيلية متخصصة، مثل:

- نسبة الهدر في عمليات السحب .
- جودة طبقة الجلفنة .
- استهلاك قوالب السحب .
- أزمنة تغيير المقاسات .
- متابعة المشغلين .
- السلامة داخل خطوط الجلفنة .

ومن هنا تأتي أهمية الدراسة الحالية، حيث ستقوم بقياس هذه المؤشرات داخل بيئة صناعية حقيقية في شركة اتحاد مصانع الأسلاك، مما يمنح البحث قيمة تطبيقية أكبر وإضافة علمية واضحة في مجال التحول الرقمي في صناعة الأسلاك الحديدية.

الدراسة الثالثة

Komkowski, T., et al. (2023)

The Integration of Industry 4.0 and Lean Management: A Systematic Review and Constituting Elements Perspective

مجلة *Total Quality Management & Business Excellence* :

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل كيفية دمج تقنيات Industry 4.0 مع Lean Management، وتحديد العناصر الرئيسة التي تسهم في نجاح هذا التكامل داخل المؤسسات الصناعية، مع اقتراح إطار نظري يوضح متطلبات التطبيق والعوامل المؤثرة في نجاحه. واعتمد الباحثون على المراجعة المنهجية للأدبيات، حيث تمت مراجعة 111 دراسة علمية منشورة خلال الفترة من 2015 إلى 2021.

منهجية الدراسة

اتبعت الدراسة منهج (Systematic Literature Review (SLR، وتم تحليل الدراسات باستخدام منهجية تصنيف موضوعية لاستخلاص الأنماط المشتركة، والعوامل التنظيمية والتقنية اللازمة لنجاح التكامل بين Lean Management وتقنيات Industry 4.0، مع التركيز على الأبعاد الإدارية والتشغيلية وليس الجوانب التقنية فقط.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

- أن تطبيق Industry 4.0 دون وجود ثقافة Lean يؤدي في كثير من الأحيان إلى رقمنة الهدر بدلاً من التخلص منه.
- أكدت الدراسة أن Lean Management يمثل الأساس التنظيمي الذي يجب أن يسبق أو يتزامن مع تطبيق التقنيات الرقمية، لأن نجاح التحول الرقمي يعتمد على استقرار العمليات التشغيلية وتحسينها أولاً.
- أوضحت الدراسة أن المؤسسات التي نجحت في دمج Lean مع Industry 4.0 حققت تحسناً ملحوظاً في:
 - الإنتاجية.
 - جودة المنتجات.
 - سرعة اتخاذ القرار.
 - مرونة العمليات التشغيلية.
 - تقليل الفاقد.
 - تحسين تدفق المعلومات.

- اقترحت الدراسة إطاراً تنظيمياً يوضح مراحل تنفيذ التكامل، يبدأ بتقييم جاهزية المؤسسة، ثم تحسين العمليات، ثم تطبيق التقنيات الرقمية، ثم قياس الأداء بصورة مستمرة.

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بموضوع البحث الحالي، لأنها لا تنظر إلى **Lean Manufacturing** و **Industry 4.0** باعتبارهما مشروعين منفصلين، وإنما تعتبر أن نجاح التحول الرقمي يعتمد على تطبيق منهجية التحسين المستمر بصورة متزامنة.

ويتفق ذلك بصورة مباشرة مع مشروع شركة اتحاد مصانع الأسلاك، حيث يجري تنفيذ **Manufacturing Execution System (MES)** بالتوازي مع مشروع **Lean Manufacturing** داخل خطوط **Wire Drawing** و **Hot-Dip Galvanizing**، وليس بصورة منفصلة.

كما تدعم نتائج الدراسة الفرضية الرئيسة للبحث الحالي، والتي تنص على أن التكامل بين النظام الرقمي والمنهجية الإدارية يؤدي إلى تحسين **Operational Performance** بصورة أكبر من تطبيق أي منهما بصورة مستقلة.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت أحد أشمل الأطر النظرية لتكامل **Industry 4.0** مع **Lean Management**، فإنها اقتصرت على مراجعة الدراسات السابقة، ولم تتضمن دراسة حالة تطبيقية داخل مصنع فعلي.

كما أن الدراسة لم تتناول تطبيق هذا التكامل داخل الصناعات المعدنية أو صناعة الأسلاك الحديدية، ولم تبحث العلاقة بين **Manufacturing Execution System (MES)** ومؤشرات تشغيلية متخصصة مثل:

- **Overall Equipment Effectiveness (OEE).**
- استهلاك قوالب السحب.
- جودة طبقة الجلفنة.

- زمن تغيير المقاسات .
- نسب الهدر في عمليات السحب .
- متابعة المشغلين في خطوط الإنتاج .

إضافة إلى ذلك، ركزت الدراسة على الجوانب التنظيمية والإدارية بصورة أكبر من تركيزها على قياس الأداء التشغيلي باستخدام بيانات تشغيلية حقيقية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب، من أهمها:

- دعم الإطار النظري الخاص بالتكامل بين MES و Lean Manufacturing .
- الاستفادة من العوامل الرئيسة لنجاح التكامل بين التقنية والمنهجية الإدارية .
- تدعيم فرضيات الدراسة المتعلقة بتحسين الأداء التشغيلي .
- بناء النموذج المفاهيمي للبحث .
- تحديد بعض المتغيرات التابعة التي سيتم قياسها، مثل :
 - الإنتاجية .
 - جودة المنتج .
 - تقليل الهدر .
 - كفاءة تشغيل المعدات .
 - سرعة اتخاذ القرار .

الدراسة الرابعة

Tabim, V., Romero, D., Stahre, J. & Fast-Berglund, Å. (2024)

Knowledge Sharing for Manufacturing Execution System (MES) Implementation in Digital Manufacturing: A Multiple Case Study

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحديد العوامل الرئيسية التي تؤثر في نجاح تطبيق Manufacturing Execution System (MES) داخل بيئات التصنيع الرقمي، مع التركيز على دور إدارة المعرفة وتبادل الخبرات بين فرق العمل، وتأثير ذلك في نجاح تنفيذ المشروع وتحقيق أهداف التحول الرقمي. كما هدفت الدراسة إلى بناء إطار عملي يساعد المؤسسات الصناعية على تجنب التحديات التي تواجه مشروعات تطبيق MES وتحسين فرص نجاحها.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على دراسة حالات متعددة (Multiple Case Study)، حيث تم إجراء مقابلات مع 56 خبيراً يمثلون 33 شركة صناعية تعمل في قطاعات صناعية مختلفة، بالإضافة إلى شركات متخصصة في تطوير وتطبيق أنظمة MES.

كما تم تحليل مراحل المشروع ابتداءً من دراسة الاحتياجات، واختيار النظام، والتصميم، والتنفيذ، وحتى مرحلة التشغيل الفعلي، بهدف تحديد العوامل المؤثرة في نجاح التطبيق.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، كان من أبرزها ما يلي:

- نجاح تطبيق Manufacturing Execution System (MES) لا يعتمد على التكنولوجيا وحدها، وإنما يعتمد بصورة كبيرة على جودة إدارة المشروع، ووضوح الأهداف، وتعاون الإدارات المختلفة داخل المؤسسة.
- يعد تبادل المعرفة بين خبراء التشغيل، والإنتاج، والصيانة، وتقنية المعلومات أحد أهم العوامل التي تؤثر في نجاح تنفيذ المشروع، حيث يؤدي ضعف التواصل بين هذه الإدارات إلى تأخير التنفيذ وانخفاض الاستفادة من إمكانيات النظام.

- أوضحت الدراسة أن مرحلة تحليل العمليات الحالية قبل التطبيق تعد من أكثر مراحل المشروع أهمية، لأنها تساعد في تحديد احتياجات المصنع الحقيقية، وتجنب نقل المشكلات التشغيلية الحالية إلى النظام الجديد .
- أكدت الدراسة أن تدريب المستخدمين النهائيين وإشراكهم في مراحل تصميم النظام يسهم بصورة مباشرة في رفع معدلات قبول النظام وتحقيق الاستفادة القصوى منه .
- بينت الدراسة أن المؤسسات التي تمتلك إجراءات تشغيلية واضحة ومؤشرات أداء محددة تحقق نتائج أفضل بعد تطبيق MES مقارنة بالمؤسسات التي تبدأ المشروع دون وجود معايير تشغيلية واضحة .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من الدراسات المهمة بالنسبة للبحث الحالي، لأنها لا تركز فقط على الجانب التقني لنظام MES، وإنما تتناول الجوانب الإدارية والتنظيمية التي تؤثر في نجاح التطبيق.

وتتشابه هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في عدة نقاط، من أهمها:

- تطبيق MES داخل منشأة صناعية قائمة .
- التركيز على تحسين الأداء التشغيلي .
- الحاجة إلى مشاركة جميع الإدارات في المشروع .
- أهمية تحليل العمليات التشغيلية قبل بدء التطبيق .
- الاعتماد على البيانات التشغيلية في تحسين الأداء .

كما تدعم نتائج الدراسة فكرة أن نجاح مشروع التحول الرقمي في شركة اتحاد مصانع الأسلاك لا يعتمد فقط على تركيب النظام، وإنما يتطلب إعادة تصميم العمليات التشغيلية، وتطوير إجراءات العمل، وتطبيق منهجية Lean Manufacturing بالتزامن مع تطبيق MES.

التحليل النقدي

على الرغم من القيمة العلمية الكبيرة لهذه الدراسة، إلا أنها ركزت بصورة أساسية على مراحل تنفيذ مشروع MES والعوامل التنظيمية المرتبطة به، ولم تقم بقياس أثر النظام على مؤشرات الأداء التشغيلي بعد التطبيق.

كما أن الدراسة لم تتناول التكامل بين MES وLean Manufacturing، ولم تدرس أثر هذا التكامل في تحسين الأداء داخل خطوط إنتاج محددة.

ومن أوجه القصور كذلك أن الدراسة شملت عدة قطاعات صناعية مختلفة، مما يجعل نتائجها عامة إلى حد كبير، دون التطرق إلى الخصائص الفنية للصناعات المعدنية الثقيلة أو صناعة الأسلاك الحديدية.

إضافة إلى ذلك، لم تتناول الدراسة مؤشرات تشغيلية متخصصة مثل:

- نسبة الهدر في عمليات سحب الأسلاك .
- جودة طبقة الجلفنة .
- زمن تغيير المقاسات .
- استهلاك قوالب السحب .
- كفاءة تشغيل خطوط الجلفنة .
- بيئة العمل داخل مناطق الزنك المنصهر .
- أداء العاملين في خطوط الإنتاج .

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب رئيسة، من أهمها:

- التعرف على المراحل الأساسية لتطبيق MES داخل المنشآت الصناعية .
- تحديد عوامل النجاح الحرجة لمشروعات التحول الرقمي .
- الاستفادة من أهمية تحليل العمليات الحالية قبل بدء التطبيق .
- التأكيد على أهمية إشراك جميع الإدارات في تنفيذ المشروع .
- دعم منهجية الدراسة الحالية في مرحلة تنفيذ المشروع داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك .

كما استفاد الباحث من نتائج الدراسة في بناء التصور المقترح لتطبيق MES بالتزامن مع Lean Manufacturing، مع التركيز على تحقيق التكامل بين التقنية وإعادة تصميم العمليات التشغيلية.

رأي الباحث

تعد هذه الدراسة من أقرب الدراسات إلى موضوع الرسالة من الناحية التطبيقية، لأنها تتناول تنفيذ MES داخل مصانع حقيقية، إلا أنها ما زالت تركز على كيفية تنفيذ النظام أكثر من تركيزها على قياس الأثر التشغيلي للتكامل بين النظام ومنهجية Lean Manufacturing.

ومن هنا تتميز الدراسة الحالية بأنها لا تكتفي بدراسة تنفيذ النظام، بل تسعى إلى قياس الأثر الفعلي لهذا التكامل على مؤشرات الأداء التشغيلي داخل خطوط سحب وجلفنة الأسلاك، وهو ما يمثل إضافة علمية وعملية واضحة للأدبيات الحالية.

الدراسة الخامسة

Memari, A., Rahman, M., Nadeem, S. & Cummins, J. (2024)

The Impact of Lean Production on Operational Performance: The Mediating Role of Industry 4.0 Technologies

المجلة: Asia Pacific Journal of Business Administration

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل أثر تطبيق Lean Production في تحسين Operational Performance داخل المنشآت الصناعية، مع دراسة الدور الوسيط الذي تؤديه تقنيات Industry 4.0 في تعزيز العلاقة بين ممارسات الإنتاج الرشيق والأداء التشغيلي. كما سعت الدراسة إلى تحديد ما إذا كان دمج التقنيات الرقمية مع ممارسات Lean يؤدي إلى نتائج تشغيلية أفضل مقارنة بتطبيق Lean بصورة منفردة.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الكمي، حيث تم جمع البيانات من عدد من الشركات الصناعية التي تطبق مبادئ **Lean Production** بدرجات متفاوتة، ثم استخدم الباحثون نماذج التحليل الإحصائي لاختبار العلاقة بين ممارسات الإنتاج الرشيق، واستخدام تقنيات **Industry 4.0**، والأداء التشغيلي للمؤسسات الصناعية. كما تم اختبار الدور الوسيط للتقنيات الرقمية في هذه العلاقة.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج المهمة، كان من أبرزها:

- وجود تأثير إيجابي ذي دلالة إحصائية بين تطبيق **Lean Production** وتحسين **Operational Performance** داخل المنشآت الصناعية.
- أظهرت النتائج أن استخدام تقنيات **Industry 4.0** يعزز بصورة ملحوظة أثر **Lean Production** في تحسين الأداء، حيث يؤدي التكامل بين المنهجين إلى نتائج أفضل مقارنة بتطبيق أي منهما بصورة مستقلة.
- أوضحت الدراسة أن المؤسسات التي اعتمدت على البيانات الرقمية في متابعة العمليات الإنتاجية حققت تحسناً في سرعة اتخاذ القرار، وتقليل الفاقد، وتحسين استغلال الموارد، وزيادة مرونة العمليات التشغيلية.
- أكدت الدراسة أن نجاح التحول الرقمي يتطلب وجود بيئة تشغيلية مستقرة تعتمد على مبادئ **Lean Production**، وأن الرقمنة وحدها لا تحقق النتائج المرجوة إذا كانت العمليات الإنتاجية تعاني من الهدر وعدم الاستقرار.

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بموضوع الرسالة الحالية، لأنها تؤكد أن تحسين الأداء التشغيلي لا يتحقق من خلال تطبيق التقنيات الرقمية فقط، وإنما من خلال التكامل بين التقنيات الرقمية ومبادئ **Lean Production**.

وتتفق هذه النتائج مع مشروع شركة اتحاد مصانع الأسلاك، حيث يجري تنفيذ مشروع **Manufacturing Execution System (MES)** بالتزامن مع تطبيق **Lean Manufacturing** داخل خطوط **Wire Drawing** و **Hot-Dip Galvanizing**، بهدف تحقيق تحسين مستدام في الأداء التشغيلي.

كما تدعم الدراسة الفرضية الرئيسة للبحث الحالي، والتي تفترض وجود أثر ذي دلالة إحصائية للتكامل بين **MES** و **Lean Manufacturing** في تحسين الأداء التشغيلي.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت دليلاً علمياً على أهمية التكامل بين **Lean Production** وتقنيات **Industry 4.0**، فإنها لم تتناول بصورة مباشرة **Manufacturing Execution System (MES)** باعتباره النظام الرقمي محل الدراسة، وإنما تناولت تقنيات الثورة الصناعية الرابعة بصورة عامة.

كما لم تركز الدراسة على الصناعات المعدنية أو صناعة الأسلاك الحديدية، ولم تبحث مؤشرات تشغيلية متخصصة مثل:

- معدل سحب الأسلاك .
- كفاءة خطوط الجلفنة .
- استهلاك الزنك .
- استهلاك قوالب السحب .
- جودة طبقة الجلفنة .
- معدل الهدر في عمليات السحب .
- زمن تغيير المقاسات .
- إنتاجية خطوط تصنيع شبك السياج والأسلاك المجلفنة .

إضافة إلى ذلك، لم تربط الدراسة بين نتائج التحليل الإحصائي ومشروع تحول رقمي حقيقي داخل مصنع قائم، وهو ما يميز الدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب، من أهمها:

- دعم الإطار النظري للعلاقة بين **Lean Manufacturing** و **Operational Performance**.
- الاستفادة من مفهوم الدور الوسيط للتقنيات الرقمية في تحسين الأداء التشغيلي .
- تدعيم الفرضيات الرئيسة والفرعية للبحث .
- تحديد مجموعة من مؤشرات الأداء التي يمكن استخدامها في الدراسة الحالية .
- دعم فكرة أن نجاح مشروع MES يعتمد على تكامله مع **Lean Manufacturing** وليس على التطبيق التقني فقط .

تعليق الباحث

تمثل هذه الدراسة دعماً علمياً مهماً لفرضية الرسالة، لأنها تؤكد أن التحسين الحقيقي في الأداء التشغيلي يتحقق عند دمج التحول الرقمي مع منهجيات التحسين المستمر. إلا أن الدراسة الحالية تتقدم خطوة إضافية من خلال قياس هذا الأثر داخل قطاع تصنيع الأسلاك الحديدية، مع التركيز على خطوط السحب والجلفنة، وهو قطاع لم يحظَ بدراسة تطبيقية متخصصة في الأدبيات الحديثة، الأمر الذي يمنح البحث الحالي قيمة علمية وتطبيقية مضافة.

الدراسة السادسة

Buer, S. V., Strandhagen, J. O. & Chan, F. T. S. (2020)

The Link Between Industry 4.0 and Lean Manufacturing: Mapping Current Research and Establishing a Research Agenda

المجلة *International Journal of Production Research* :

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل العلاقة بين Industry 4.0 وLean Manufacturing، وتحديد مدى مساهمة التقنيات الرقمية الحديثة في تعزيز مبادئ التصنيع الرشيق داخل المؤسسات الصناعية. كما سعت إلى وضع خارطة طريق للبحوث المستقبلية من خلال تحليل الدراسات المنشورة وتحديد المجالات التي ما زالت تحتاج إلى مزيد من البحث والتطبيق.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحثون على المراجعة المنهجية للأدبيات (Systematic Literature Review)، حيث تم تحليل مجموعة كبيرة من الأبحاث المنشورة في قواعد البيانات العلمية العالمية، مع تصنيفها وفق طبيعة التطبيق، والقطاع الصناعي، والتقنيات المستخدمة، ومجالات التحسين المستهدفة.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج المهمة، من أبرزها:

- يوجد تكامل واضح بين Industry 4.0 وLean Manufacturing، حيث تسهم التقنيات الرقمية في تحسين تطبيق أدوات التصنيع الرشيق من خلال توفير بيانات دقيقة وفورية عن العمليات الإنتاجية.
- يساعد التكامل بين المنهجين في تحسين كفاءة العمليات، وتقليل الفاقد، ورفع جودة المنتجات، وتحسين استغلال الموارد، وزيادة مرونة خطوط الإنتاج.
- أكدت الدراسة أن نجاح التحول الرقمي يعتمد على وجود عمليات إنتاج مستقرة ومنظمة، وأن تطبيق التقنيات الرقمية في بيئة تعاني من مشكلات تشغيلية مزمنة قد يؤدي إلى رقمنة المشكلات بدلاً من معالجتها.
- أوصت الدراسة بضرورة إجراء مزيد من الدراسات التطبيقية التي تقيس أثر هذا التكامل في قطاعات صناعية متخصصة، وعدم الاكتفاء بالدراسات النظرية أو المراجعات الأدبية.

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تتفق هذه الدراسة مع البحث الحالي في تأكيدها أن التحول الرقمي ليس هدفاً في حد ذاته، وإنما وسيلة لدعم التحسين المستمر، وأن التكامل بين النظام الرقمي والمنهجية الإدارية يمثل العامل الرئيس في تحقيق التميز التشغيلي.

كما تدعم الدراسة فكرة أن تطبيق **Manufacturing Execution System (MES)** داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك يجب أن يتم بالتوازي مع **Lean Manufacturing** حتى تتحقق الفوائد المرجوة على مستوى الإنتاجية والجودة وتقليل الهدر.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت رؤية شاملة للعلاقة بين **Lean Manufacturing** و **Industry 4.0**، إلا أنها اقتصرت على تحليل الأدبيات العلمية ولم تقدم نتائج تطبيقية من مصانع فعلية.

كما أنها لم تتناول **Manufacturing Execution System (MES)** كأحد الأنظمة التشغيلية بصورة مستقلة، ولم تبحث تأثيره داخل خطوط إنتاج محددة مثل **Wire Drawing** أو **Hot-Dip Galvanizing**.

إضافة إلى ذلك، لم تتناول الدراسة طبيعة الصناعات المعدنية أو صناعة الأسلاك الحديدية، ولم تربط نتائجها بمؤشرات تشغيلية متخصصة مثل:

- **Overall Equipment Effectiveness (OEE).**
- معدل الهدر في عمليات السحب .
- جودة طبقة الجلفنة .
- استهلاك الزنك .
- استهلاك قوالب السحب .
- معدل التوقفات غير المخططة .
- إنتاجية خطوط السحب والجلفنة .

وتعد هذه الجوانب من أهم المحاور التي ستتناولها الدراسة الحالية بصورة تطبيقية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في:

- دعم الإطار النظري للعلاقة بين Industry 4.0 و Lean Manufacturing.
- الاستفادة من خارطة الطريق البحثية التي اقترحتها الدراسة لتحديد اتجاه البحث الحالي .
- تدعيم فرضيات الدراسة المتعلقة بأثر التكامل بين الأنظمة الرقمية ومنهجيات التحسين المستمر .
- تأكيد أهمية إجراء دراسة تطبيقية داخل قطاع صناعي متخصص ، وهو ما تمثله الدراسة الحالية في قطاع صناعة الأسلاك الحديدية .

تعليق الباحث

تؤكد هذه الدراسة أن الأدبيات العلمية اتجهت بصورة متزايدة إلى دراسة التكامل بين Industry 4.0 و Lean Manufacturing ، إلا أن معظمها ظل في الإطار النظري أو اعتمد على مراجعات منهجية للأدبيات. ومن ثم، فإن الدراسة الحالية تقدم إضافة علمية من خلال اختبار هذا التكامل ميدانياً داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك، مع التركيز على تطبيق نظام Manufacturing Execution System (MES) في خطوط Wire Drawing و Hot-Dip Galvanizing، وقياس أثره المباشر على مؤشرات الأداء التشغيلي.

الدراسة السابعة

Costa, L., Pereira, A., Silva, F. & Alves, A. (2024)

Methodology for Implementing a Manufacturing Execution System to Support Continuous Improvement
in Manufacturing Companies

المؤتمر : Procedia Computer Science

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تطوير منهجية عملية لتطبيق **Manufacturing Execution System (MES)** داخل إحدى الشركات الصناعية التي كانت تعاني من ضعف الرؤية اللحظية للعمليات الإنتاجية، وتأخر الحصول على البيانات التشغيلية، وصعوبة متابعة الأداء بصورة مستمرة. كما هدفت إلى بيان كيفية توظيف **MES** لدعم **Continuous Improvement** وتحسين الأداء التشغيلي للمصنع .

منهجية الدراسة

اعتمد الباحثون على دراسة حالة تطبيقية (**Case Study**) داخل شركة صناعية، حيث بدأ المشروع بتحليل الوضع التشغيلي القائم، وتحديد المشكلات التشغيلية، ثم تصميم منهجية متكاملة لتطبيق **MES** وربطه بخطوط الإنتاج.

كما استخدمت الدراسة أدوات **Lean Manufacturing** لتحليل العمليات الحالية، وتحديد مصادر الهدر، وإعادة تصميم تدفق المعلومات قبل البدء في التطبيق الفعلي للنظام، ثم تمت مقارنة الأداء قبل التطبيق وبعده .

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

- أظهرت الدراسة أن ضعف الرؤية اللحظية للعمليات الإنتاجية كان من أهم أسباب انخفاض كفاءة اتخاذ القرار داخل المصنع، وأن تطبيق **MES** أدى إلى تحسين مستوى متابعة العمليات التشغيلية بصورة كبيرة .
- أوضحت الدراسة أن البيانات التي كانت تجمع بصورة يدوية أصبحت متاحة بصورة فورية بعد تطبيق النظام، مما أدى إلى تحسين سرعة الاستجابة للمشكلات التشغيلية وتقليل زمن اتخاذ القرار .
- أكدت الدراسة أن تطبيق **MES** وحده لا يكفي لتحقيق التحسين المستدام، بل يجب دمجه مع أدوات **Lean Manufacturing** وإعادة تصميم العمليات التشغيلية لضمان إزالة الأنشطة التي لا تضيف قيمة .

- بينت الدراسة أن الدمج بين النظام الرقمي وأدوات التحسين المستمر أدى إلى تحسين مؤشرات الأداء التشغيلية ورفع كفاءة العمليات الصناعية بصورة ملحوظة .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أقرب الدراسات إلى موضوع الرسالة الحالية، لأنها تجمع بين ثلاثة محاور رئيسة يعتمد عليها البحث الحالي، وهي:

- تطبيق Manufacturing Execution System (MES).
- استخدام أدوات Lean Manufacturing.
- تحسين Operational Performance داخل المصنع .

كما تتشابه مع الدراسة الحالية في أن الهدف لم يكن تركيب النظام فقط، وإنما استخدامه كأداة لدعم Continuous Improvement وتحسين الأداء التشغيلي.

إلا أن الدراسة الحالية تتميز عنها في أنها ستطبق هذا المفهوم داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك، مع التركيز على Wire Drawing Lines وHot-Dip Galvanizing Lines، وهي عمليات إنتاجية ذات طبيعة مختلفة وتعقيد أعلى من البيئة الصناعية التي تناولتها الدراسة.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت منهجية عملية واضحة لتطبيق MES وربطه بالتحسين المستمر، فإنها لم تقدم نموذجاً متكاملاً لقياس أثر التطبيق على مجموعة واسعة من مؤشرات الأداء التشغيلية، كما أنها لم تتناول الصناعات المعدنية أو صناعة الأسلاك الحديدية.

كذلك لم تبحث الدراسة تأثير تطبيق MES على مؤشرات تشغيلية متخصصة، مثل:

Overall Equipment Effectiveness (OEE).

- معدل الهدر في عمليات سحب الأسلاك .
- جودة طبقة الزنك .
- استهلاك الزنك .
- استهلاك قوالب السحب .
- زمن تغيير المقاسات .
- كفاءة تشغيل أحواض الجلفنة .
- إنتاجية خطوط تصنيع شبك السياج والأسلاك المجلفنة .

كما لم تدرس الدراسة أثر المشروع على السلامة المهنية أو بيئة العمل داخل خطوط الإنتاج، وهو أحد المحاور الرئيسية التي تتناولها الدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب، من أهمها:

- الاستفادة من منهجية تنفيذ مشروع MES داخل مصنع قائم .
- دعم فكرة أن نجاح التحول الرقمي يعتمد على إعادة تصميم العمليات وليس على التقنية فقط .
- الاستفادة من الربط بين MES و Lean Manufacturing في بناء الإطار التطبيقي للدراسة .
- دعم تصميم النموذج المقترح لتطبيق المشروع داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك .
- الاستفادة من مؤشرات الأداء المستخدمة لتقييم نجاح المشروع .

تعليق الباحث

تمثل هذه الدراسة خطوة مهمة نحو دمج MES مع Lean Manufacturing داخل المصانع، إلا أنها لا تزال تركز على منهجية التطبيق أكثر من تركيزها على قياس الأثر التشغيلي في قطاع صناعي متخصص.

ومن هنا تأتي القيمة المضافة للدراسة الحالية، التي ستنتقل من مجرد عرض منهجية التطبيق إلى قياس الأثر الكمي للتكامل بين MES وLean Manufacturing على مؤشرات الأداء التشغيلية داخل خطوط سحب وجلفنة الأسلاك، مع استخدام بيانات تشغيلية حقيقية قبل التطبيق وبعده، وهو ما يمنح الرسالة قوة علمية وتطبيقية أكبر.

الدراسة الثامنة

Suliga, M. (2023)

Assessment of the Possibility of Reducing Energy Consumption in the Steel Wire Manufacturing Process

المجلة *Materials* :

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل أثر تقنيات تصنيع الأسلاك المجلفنة على استهلاك الطاقة وكفاءة عمليات السحب، مع التركيز على تأثير **Wire Drawing Technology** في استهلاك الطاقة، وقوى السحب، واستهلاك الزنك، والانبعاثات الكربونية أثناء تصنيع الأسلاك الفولاذية المجلفنة.

كما هدفت الدراسة إلى تحديد أفضل ظروف التشغيل التي تحقق أعلى كفاءة إنتاجية مع تقليل استهلاك الطاقة والمحافظة على جودة طبقة الجلفنة.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحث على دراسة تجريبية (**Experimental Industrial Study**) داخل مصنع لإنتاج الأسلاك الفولاذية المجلفنة، حيث أجريت التجارب باستخدام ماكينة سحب متعددة المراحل من شركة **Mario Frigerio**، وهي من أشهر الشركات العالمية في صناعة معدات سحب الأسلاك.

وشملت الدراسة تحليل تأثير:

- زاوية قالب السحب .
- سرعة السحب .
- نوع قوالب السحب .
- ظروف التشحيم .

على:

- استهلاك الطاقة .
- قوى السحب .
- استهلاك الزنك .
- جودة المنتج النهائي .

كما تم إجراء القياسات في ظروف تشغيل صناعية فعلية وليس داخل المختبر .

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

أولاً

أثبتت الدراسة أن اختيار ظروف السحب المناسبة يمكن أن يخفض استهلاك الطاقة في عملية تصنيع الأسلاك بنسبة تصل إلى 37% مقارنة بظروف التشغيل غير المثلى .

ثانياً

أوضحت الدراسة أن استخدام Hydrodynamic Drawing Dies أدى إلى:

- تقليل الاحتكاك .
- خفض درجة حرارة السلك أثناء السحب .
- تقليل قدرة السحب المطلوبة .
- تحسين جودة طبقة الزنك .

مقارنة باستخدام القوالب التقليدية .

ثالثاً

أظهرت النتائج أن تحسين ظروف السحب ساهم في تقليل فاقد الزنك بصورة كبيرة، حيث أمكن توفير ما يقارب 265 طناً من الزنك سنوياً عند إنتاج 100,000 طن من الأسلاك، بالإضافة إلى تقليل الانبعاثات الكربونية بصورة ملحوظة .

رابعاً

أكدت الدراسة أن سرعة السحب، وزاوية قالب السحب، وطريقة التشحيم تعد من أكثر المتغيرات تأثيراً في:

- جودة المنتج .
- كفاءة التشغيل .
- استهلاك الطاقة .
- العمر التشغيلي لقوالب السحب .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أقرب الدراسات إلى موضوع الرسالة الحالية، لأنها أجريت داخل مصنع لإنتاج الأسلاك الفولاذية، وركزت على **Wire Drawing Process** باعتبارها المرحلة الأساسية في التصنيع.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في اهتمامها بتحسين الأداء التشغيلي داخل خطوط السحب، وتقليل الهدر، وتحسين جودة المنتج، وخفض تكاليف التشغيل.

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها لا تقتصر على تحسين المعلومات الفنية لعملية السحب، وإنما تدرس أثر التكامل بين **Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing** في تحسين إدارة وتشغيل خطوط السحب والجلفنة، من خلال الاعتماد على البيانات التشغيلية الفورية، والتحسين المستمر، ومؤشرات الأداء التشغيلية.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة تعد من أفضل الدراسات التطبيقية في مجال **Steel Wire Manufacturing**، فإنها ركزت بصورة أساسية على الجوانب الفنية والهندسية لعملية السحب، مثل استهلاك الطاقة، والهندسة الميكانيكية لقوالب السحب، وتأثير ظروف التشغيل في جودة المنتج.

في المقابل، لم تتناول الدراسة الجوانب الإدارية أو الرقمية المرتبطة بإدارة المصنع، مثل:

- تطبيق **Manufacturing Execution System (MES)**.
- استخدام البيانات التشغيلية اللحظية.
- متابعة مؤشرات الأداء التشغيلية.
- إدارة الإنتاج.
- إدارة الجودة.
- إدارة الصيانة.
- متابعة المشغلين.
- تطبيق **Lean Manufacturing**.

كما لم تبحث الدراسة أثر التحول الرقمي في تحسين الأداء التشغيلي أو دعم اتخاذ القرار داخل المصنع، وهو ما يمثل محور الدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب مهمة، من أبرزها:

- فهم العوامل الفنية المؤثرة في كفاءة عمليات سحب الأسلاك .
- تحديد أهم المتغيرات التشغيلية المؤثرة في جودة المنتج .
- الاستفادة من مؤشرات الطاقة وكفاءة التشغيل كأحد مؤشرات الأداء في الدراسة الحالية .
- دعم الجانب الفني الخاص بوصف خطوط السحب في الفصل الثاني .
- ربط مؤشرات الأداء الفنية مع البيانات التي سيتم جمعها من Manufacturing Execution System (MES) بعد تطبيقه داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك .

تعليق الباحث

تتميز هذه الدراسة بأنها من الدراسات النادرة التي تناولت Steel Wire Manufacturing بصورة مباشرة، ولذلك تمثل مرجعاً مهماً للدراسة الحالية.

ومع ذلك، فإنها ركزت على تحسين العملية الإنتاجية من منظور هندسي، بينما تركز الدراسة الحالية على تحسين إدارة العملية الإنتاجية من منظور تشغيلي ورقمي، من خلال دمج Manufacturing Execution System (MES) مع Lean Manufacturing لقياس أثرهما في تحسين الأداء التشغيلي داخل خطوط Wire Drawing و Hot-Dip Galvanizing بشركة اتحاد مصانع الأسلاك.

الدراسة التاسعة

Abdelwahed, M. S., Alghamdi, A., & Eltaher, M. A. (2024)

Improving Product Quality of Wire Drawing Process Using Design of Experiments

المجلة: *Journal of Computational and Applied Mechanics*

هدف الدراس

هدفت الدراسة إلى تحسين جودة منتجات الأسلاك الناتجة عن Wire Drawing Process من خلال تطبيق أسلوب Design of Experiments (DOE) لتحديد المتغيرات التشغيلية الأكثر تأثيراً في جودة المنتج النهائي. كما سعت الدراسة إلى بناء نموذج علمي يساعد في اختيار أفضل ظروف التشغيل التي تحقق أعلى جودة ممكنة مع تقليل العيوب الصناعية وخفض تكاليف الإنتاج.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على منهج تجريبي داخل مصنع لإنتاج الأسلاك، حيث قام الباحثون بتحليل عملية السحب بداية من لفائف الخام وحتى المنتج النهائي، ثم حددوا المتغيرات التشغيلية المؤثرة، مثل:

- سرعة السحب .
- نسبة التخفيض في كل مرحلة .
- خصائص مادة السلك .
- ظروف التشحيم .
- خصائص قوالب السحب .

بعد ذلك استخدم الباحثون أسلوب Design of Experiments (DOE) لإجراء تجارب مخططة وتحليل تأثير كل متغير على جودة المنتج والخواص الميكانيكية للأسلاك، مع بناء نماذج رياضية للتنبؤ بأفضل ظروف التشغيل.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

- أثبتت الدراسة أن سرعة السحب تعد من أكثر المتغيرات تأثيراً في جودة المنتج النهائي، وأن اختيار السرعة المناسبة يؤدي إلى تحسين الخصائص الميكانيكية للأسلاك وتقليل العيوب الصناعية.
- أوضحت النتائج أن تصميم التجارب يعد أداة فعالة لتحسين عمليات سحب الأسلاك، حيث يساعد في تحديد أفضل توليفة من ظروف التشغيل دون الحاجة إلى عدد كبير من التجارب الصناعية.
- بينت الدراسة أن تحسين معلمات التشغيل يؤدي إلى:
 - تحسين مقاومة الشد.
 - زيادة انتظام أقطار الأسلاك.
 - تقليل معدلات الكسر أثناء السحب.
 - رفع جودة المنتج النهائي.
 - خفض تكاليف التشغيل الناتجة عن المنتجات غير المطابقة.
- أكدت الدراسة أن التحسين العلمي لمعلمات التشغيل يسهم في زيادة القدرة التنافسية لمصانع الأسلاك من خلال تحسين الجودة وتقليل الفاقد.

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بالبحث الحالي، لأنها تركز بصورة مباشرة على Wire Drawing Process، وهي المرحلة الأولى التي تركز عليها الدراسة الحالية في شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

وتتفق مع الدراسة الحالية في اهتمامها بتحسين جودة المنتج ورفع كفاءة العمليات التشغيلية، إلا أنها تختلف عنها في أن الدراسة الحالية لا تركز على المعلومات الفنية لعملية السحب فقط، وإنما تبحث أثر Manufacturing Execution System (MES) و Lean Manufacturing في إدارة العملية الإنتاجية بأكملها، من خلال:

- المتابعة اللحظية للإنتاج .
- إدارة بيانات التشغيل .
- تحليل أسباب التوقفات .
- تقليل الهدر .
- دعم اتخاذ القرار .
- تحسين التكامل بين الإنتاج والجودة والصيانة .

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت نموذجاً علمياً قوياً لتحسين جودة عمليات سحب الأسلاك باستخدام **Design of Experiments**، فإنها ركزت بصورة رئيسة على الجانب الهندسي للعملية، ولم تتناول الجوانب الإدارية والتشغيلية المرتبطة بإدارة المصنع.

كما لم تتطرق الدراسة إلى:

- تطبيق **Manufacturing Execution System (MES)**.
- استخدام البيانات التشغيلية اللحظية .
- التكامل مع **Lean Manufacturing**.
- مؤشرات الأداء التشغيلية مثل **Overall Equipment Effectiveness (OEE)**.
- إدارة فرق التشغيل .
- السلامة المهنية .
- تكامل البيانات بين الإنتاج والجودة والصيانة .

إضافة إلى ذلك، اقتصرَت الدراسة على تحسين جودة السحب، ولم تمتد إلى المراحل اللاحقة مثل **Hot-Dip Galvanizing** أو تصنيع المنتجات النهائية، وهو ما ستعالجه الدراسة الحالية بصورة أكثر شمولاً.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في الجوانب الآتية:

- التعرف على أهم المتغيرات الفنية المؤثرة في جودة عمليات سحب الأسلاك .
- الاستفادة من منهجية **Design of Experiments** في فهم تأثير ظروف التشغيل على الأداء .
- دعم الفصل الخاص بوصف عملية **Wire Drawing** والعوامل المؤثرة في كفاءتها .
- تحديد بعض مؤشرات الجودة التي يمكن متابعتها من خلال **Manufacturing Execution System (MES)** بعد تطبيقه داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك .
- الاستفادة من نتائج الدراسة عند مناقشة أثر التحول الرقمي في تحسين جودة العمليات الإنتاجية .

تعليق الباحث

تتميز هذه الدراسة بأنها من أحدث الدراسات التطبيقية التي تناولت **Wire Drawing Process** بصورة مباشرة، كما أنها قدمت إطاراً عملياً لتحسين جودة الإنتاج اعتماداً على التحليل التجريبي. إلا أنها ركزت على تحسين معلمات التشغيل الفنية، بينما تتجه الدراسة الحالية إلى مستوى إداري وتشغيلي أوسع، من خلال دراسة أثر التكامل بين **Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing** على الأداء التشغيلي الكامل لخطوط **Wire Drawing** و **Hot-Dip Galvanizing** داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك، بما يشمل الإنتاجية، والجودة، والهدر، وكفاءة المعدات، واتخاذ القرار المبني على البيانات.

الدراسة العاشرة

Álvarez-Álvarez, T., Barbón, A., Bayón, L. & Silva, C. A. (2025)

Energy, Exergy, Sustainability, Environmental Emission, and Fuel Cost Analysis of a Hot-Dip Galvanised Steel Wire Process

المجلة *Energy* :

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل الأداء التشغيلي لعملية **Hot-Dip Galvanized Steel Wire Process** من منظور كفاءة الطاقة، وكفاءة استخدام الموارد، والاستدامة البيئية، وتكاليف الوقود، مع بناء نموذج رياضي لمحاكاة خط جلفنة أسلاك فولاذية يعمل فعلياً داخل مصنع صناعي في إسبانيا.

كما هدفت الدراسة إلى تحديد نقاط الفقد في الطاقة، وقياس كفاءة المعدات، وتقييم فرص تحسين الأداء التشغيلي وتقليل استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية داخل خطوط الجلفنة.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحثون على دراسة حالة صناعية (**Industrial Case Study**) داخل أحد مصانع إنتاج الأسلاك المجلفنة، حيث تم جمع بيانات تشغيلية فعلية من خط الجلفنة، ثم استخدام برامج محاكاة ونماذج ديناميكا الموائع الحاسوبية لتحليل انتقال الحرارة، واستهلاك الطاقة، وكفاءة حوض الزنك، وكفاءة الاحتراق، وسلوك الغازات الناتجة عن العملية. كما تم التحقق من صحة النموذج من خلال مقارنة نتائج المحاكاة بالبيانات الفعلية للمصنع.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، كان من أبرزها:

- بلغ متوسط الكفاءة الطاقية الكلية لخط الجلفنة نحو 62.11%، في حين بلغت كفاءة حوض الجلفنة حوالي 34.27%، مما يشير إلى وجود فرص كبيرة لتحسين استهلاك الطاقة داخل العملية الصناعية.
- أوضحت الدراسة أن عملية الجلفنة تعد من أكثر مراحل تصنيع الأسلاك استهلاكاً للطاقة، وأن تحسين نظام الاحتراق، وعزل الأحواض، والتحكم في درجات الحرارة يمكن أن يحقق وفورات تشغيلية ملموسة.

- بينت النتائج أن إنتاج طن واحد من الأسلاك المجلفنة يتطلب كمية محددة من الغاز الطبيعي وينتج عنه انبعاثات كربونية يمكن تقليلها من خلال تحسين تشغيل الخط واستخدام تقنيات أكثر كفاءة .
- أوصت الدراسة بدراسة دمج مصادر طاقة أكثر كفاءة، مثل أنظمة الاسترداد الحراري أو الطاقة الشمسية، لتقليل تكلفة التشغيل والانبعاثات البيئية .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بموضوع الرسالة الحالية، لأنها تناولت **Hot-Dip Galvanized Steel Wire Process** بصورة مباشرة، وهو نفس نوع العمليات الإنتاجية التي تركز عليها الدراسة الحالية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

وتتشابه مع الدراسة الحالية في اهتمامها بتحسين الأداء التشغيلي لخطوط الجلفنة، وتحليل البيانات التشغيلية، والبحث عن فرص رفع الكفاءة وتقليل الفاقد.

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها لا تركز على كفاءة الطاقة فقط، وإنما تتناول الأداء التشغيلي الشامل من خلال التكامل بين **Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing**، مع قياس أثر هذا التكامل على:

- الإنتاجية .
- جودة المنتج .
- نسبة الهدر .
- كفاءة تشغيل المعدات .
- زمن التوقفات .
- متابعة الإنتاج لحظياً .
- دعم اتخاذ القرار .
- السلامة وبيئة العمل .

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت تحليلاً متقدماً لخط جلفنة أسلاك فولاذية يعمل في بيئة صناعية حقيقية، فإنها ركزت بصورة أساسية على التحليل الحراري والطاقي للعملية، ولم تتناول الجوانب الإدارية والتشغيلية المرتبطة بإدارة المصنع.

كما لم تبحث الدراسة:

- تطبيق Manufacturing Execution System (MES).
- استخدام البيانات التشغيلية في الوقت الحقيقي .
- تطبيق Lean Manufacturing.
- إدارة الإنتاج .
- إدارة الجودة .
- إدارة الصيانة .
- متابعة أداء المشغلين .
- التكامل بين الإدارات المختلفة .

وبالتالي، فإن الدراسة الحالية توسع نطاق البحث من تحسين استهلاك الطاقة إلى تحسين الأداء التشغيلي المتكامل داخل خطوط السحب والجلفنة.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب، أهمها:

- دعم الوصف الفني لخطوط Hot-Dip Galvanizing في الفصل الثاني .
- التعرف على أهم مؤشرات كفاءة التشغيل في خطوط الجلفنة .
- الاستفادة من مفهوم قياس الأداء اعتماداً على البيانات التشغيلية الفعلية .
- دعم مناقشة النتائج المتعلقة بكفاءة التشغيل واستهلاك الطاقة .
- الاستفادة من المنهجية التطبيقية التي اعتمدت على بيانات حقيقية من مصنع يعمل فعلياً .

تعليق الباحث

تتميز هذه الدراسة بأنها من أحدث الدراسات المنشورة التي تناولت Hot-Dip Galvanized Steel Wire Process داخل مصنع حقيقي، ولذلك تمثل مرجعاً مهماً للدراسة الحالية، خاصة في الجانب الفني المتعلق بخطوط الجلفنة.

ومع ذلك، فإنها ركزت على التحليل الطاقى والاستدامة البيئية، بينما تهدف الدراسة الحالية إلى تحليل الأثر الإداري والتشغيلي الناتج عن التكامل بين Manufacturing Execution System (MES) وLean Manufacturing، وقياس انعكاس هذا التكامل على مؤشرات الأداء التشغيلية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

الدراسة الحادية عشرة

Knop, K. (2019)

Analysis and Improvement of the Galvanized Wire Production Process with the Use of Six Sigma DMAIC Cycle

المجلة (QPI) *Quality Production Improvement* :

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل أسباب العيوب في Galvanized Wire Production Process باستخدام منهجية Six Sigma (DMAIC)، وتحديد الأسباب الجذرية للمشكلات التي تؤثر في جودة الأسلاك المجلفنة، ثم اقتراح حلول عملية لتحسين جودة المنتج وتقليل العيوب وتحسين استقرار العملية الإنتاجية.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحث على دراسة حالة صناعية (Industrial Case Study) داخل مصنع متخصص في إنتاج الأسلاك المجلفنة، حيث تم تطبيق منهجية DMAIC من خلال المراحل الخمس:

- Define •
- Measure •
- Analyze •
- Improve •
- Control •

كما استخدمت الدراسة مجموعة من أدوات الجودة والتحسين، مثل:

- Pareto Analysis •
- Statistical Process Control (SPC) •
- Process Capability Analysis •
- Fishbone Diagram •
- 5 Why Analysis •
- Control Plan •

وذلك لتحليل أسباب الانحرافات وتحسين استقرار العملية الإنتاجية .

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، كان من أبرزها:

- حددت الدراسة أن عدم مطابقة قطر السلك بعد الجلفنة كان أكثر العيوب تكرارًا، ويمثل النسبة الأكبر من المنتجات غير المطابقة للمواصفات .
- بينت نتائج التحليل أن السبب الجذري للمشكلة لم يكن في تصميم العملية نفسها، وإنما في تلوث وحدات تجهيز مادة المحافظة على درجة حرارة وحدة الجلفنة، وهو ما أدى إلى عدم استقرار العملية .

- أدى تنفيذ الإجراءات التصحيحية إلى :
 - تقليل التوقفات التشغيلية .
 - تقليل زمن التصنيع .
 - خفض نسبة المنتجات غير المطابقة .
 - تحسين استقرار جودة المنتج النهائي .
- أكدت الدراسة أن استخدام أدوات التحسين المنهجية يساعد في الوصول إلى الأسباب الجذرية للمشكلة بدلاً من معالجة الأعراض فقط .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أكثر الدراسات ارتباطاً بالبحث الحالي، لأنها أجريت داخل مصنع لإنتاج **Galvanized Wire**، وهو نفس القطاع الصناعي الذي تعمل فيه شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في عدة جوانب، منها:

- تحسين الأداء التشغيلي .
- تقليل العيوب والهدر .
- تحسين جودة المنتج .
- استخدام منهجيات التحسين المستمر .
- الاعتماد على البيانات في تحليل المشكلات .

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها تعتمد على التكامل بين **Lean و Manufacturing Execution System (MES)** وليس على **Six Sigma** فقط، كما أنها تركز على التحول الرقمي وربط البيانات التشغيلية لحظياً بين الإنتاج والجودة والصيانة.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت نموذجًا عمليًا ناجحًا لتحسين جودة إنتاج الأسلاك المجلفنة، فإنها ركزت على معالجة مشكلة جودة محددة باستخدام أدوات Six Sigma، ولم تتناول بناء نظام رقمي متكامل لإدارة العمليات.

كما لم تبحث الدراسة:

- تطبيق Manufacturing Execution System (MES).
- التكامل مع Enterprise Resource Planning (ERP).
- استخدام البيانات الفورية من خطوط الإنتاج.
- مؤشرات الأداء مثل Overall Equipment Effectiveness (OEE).
- إدارة أوامر الإنتاج.
- التحليلات اللحظية للأداء.
- التكامل بين الإنتاج والصيانة والجودة.

كذلك لم تتناول الدراسة أثر التحول الرقمي أو استخدام تقنيات Industry 4.0 في تحسين تشغيل خطوط الجلفنة، وهو ما يمثل أحد المحاور الرئيسة للدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في عدة جوانب، من أهمها:

- التعرف على المشكلات الشائعة في خطوط إنتاج الأسلاك المجلفنة.
- الاستفادة من منهجية تحليل الأسباب الجذرية للمشكلات التشغيلية.
- دعم الجانب الخاص بوصف عمليات التحسين المستمر في الفصل الثاني.
- الاستفادة من مؤشرات الجودة المستخدمة في تقييم أداء خطوط الجلفنة.
- دعم مناقشة نتائج الدراسة الحالية المتعلقة بتقليل الهدر وتحسين جودة المنتج.

تعليق الباحث

تمثل هذه الدراسة مرجعًا مهمًا لأنها تتناول قطاع إنتاج الأسلاك المجلفنة بصورة مباشرة، إلا أنها تركز على التحسين التقليدي باستخدام Six Sigma، بينما تنتقل الدراسة الحالية إلى مستوى أكثر تقدمًا من خلال دمج التحسين المستمر مع التحول الرقمي، وذلك عبر التكامل بين Manufacturing Execution System (MES) وLean Manufacturing داخل خطوط Wire Drawing وHot-Dip Galvanizing.

وبذلك لا تقتصر الدراسة الحالية على حل مشكلة تشغيلية واحدة، بل تستهدف بناء منظومة تشغيل رقمية متكاملة تعتمد على البيانات الفورية، وقياس مؤشرات الأداء، ودعم اتخاذ القرار، وتحقيق التحسين المستدام للأداء التشغيلي.

الدراسة الثانية عشرة

Suliga, M. (2022)

The Effect of Drawing in Conventional and Hydrodynamic Dies on Structure and Corrosion Resistance of Hot-Dip Galvanized Zinc Coatings on Medium-Carbon Steel Wire

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل تأثير تكنولوجيا سحب الأسلاك بعد الجلفنة على جودة طبقة الزنك، ومقاومة التآكل، والخواص الميكانيكية للأسلاك المجلفنة، مع مقارنة استخدام Conventional Dies وHydrodynamic Dies في خطوط السحب متعددة المراحل.

كما هدفت الدراسة إلى تحديد أفضل ظروف التشغيل التي تحقق المحافظة على سمك طبقة الزنك، وتحسين مقاومة التآكل، وتقليل احتمالات تلف الطلاء أثناء عمليات السحب عالية السرعة.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحث على دراسة تجريبية صناعية (Industrial Experimental Study) أجريت داخل مصنع لإنتاج الأسلاك المجلفنة، حيث تم تنفيذ عمليات السحب بسرعات وزوايا مختلفة باستخدام نوعين من قوالب السحب.

وشملت الدراسة قياس عدد من المؤشرات الفنية، من أهمها:

- سمك طبقة الزنك .
- مقاومة التآكل .
- الإجهادات المتبقية (Residual Stresses).
- الخواص الميكانيكية للأسلاك .
- تأثير سرعة السحب على جودة المنتج النهائي .

كما استخدمت الدراسة الفحص المجهرى وتحليل البنية المعدنية لتقييم تأثير ظروف التشغيل على طبقة الجلفنة .

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، كان من أبرزها:

- أظهرت النتائج أن سرعة السحب تعد من أكثر العوامل تأثيراً في جودة طبقة الزنك، حيث يؤدي ارتفاع السرعة إلى زيادة إزالة الزنك من سطح السلك نتيجة الاحتكاك داخل قوالب السحب .
- بينت الدراسة أن استخدام **Hydrodynamic Dies** ساعد على تحسين ظروف التشحيم وتقليل الاحتكاك، مما أدى إلى المحافظة على سمك طبقة الزنك وتحسين مقاومة التآكل مقارنة بالقوالب التقليدية .
- أوضحت النتائج أن زيادة سرعة السحب وزاوية قالب السحب تؤدي إلى ارتفاع **Residual Stresses** داخل السلك، وهو ما يؤثر في قابلية التشكيل اللاحقة وفي جودة المنتج النهائي .
- أكدت الدراسة أن اختيار ظروف التشغيل المناسبة يساهم في تحقيق توازن بين الإنتاجية والمحافظة على جودة طبقة الجلفنة، وهو ما يعد من أهم عوامل نجاح مصانع الأسلاك المجلفنة .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أقرب الدراسات إلى موضوع الرسالة الحالية، لأنها تناولت بصورة مباشرة **Wire Drawing of Hot-Dip Galvanized Steel Wire**، وهي نفس العملية الإنتاجية التي تركز عليها الدراسة الحالية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في اهتمامها بتحسين جودة المنتج ورفع كفاءة التشغيل، إلا أنها تختلف عنها في أن تركيزها ينصب على المتغيرات الهندسية للعملية، بينما تركز الدراسة الحالية على إدارة العملية التشغيلية باستخدام **Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing**.

ففي حين تبحث الدراسة الحالية كيفية مراقبة سرعة السحب، والتوقفات، والجودة، والهدر، والإنتاجية لحظياً من خلال **MES**، فإن هذه الدراسة تركز على التأثير الفيزيائي لهذه المتغيرات على خصائص السلك المجلفن.

التحليل النقدي

تمثل الدراسة مرجعاً هندسياً مهماً في مجال تصنيع الأسلاك المجلفنة، إلا أنها ركزت على الجوانب المعدنية والميكانيكية للعملية، ولم تتناول الجوانب الإدارية أو الرقمية المرتبطة بإدارة المصنع.

كما لم تبحث الدراسة:

- تطبيق **Manufacturing Execution System (MES)**.
- استخدام **Real-Time Production Data**.
- مؤشرات الأداء التشغيلية (KPIs).
- **Overall Equipment Effectiveness (OEE)**.
- التكامل بين الإنتاج والصيانة والجودة.
- تطبيق **Lean Manufacturing**.
- التحسين المستمر المبني على البيانات.

وبالتالي فإن الدراسة الحالية تكمل هذا النقص من خلال دمج الجانب الفني مع الجانب الإداري والرقمي داخل بيئة تشغيل صناعية متكاملة.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في:

- تحديد أهم المتغيرات الفنية المؤثرة في جودة طبقة الجلفنة .
- دعم الفصل الخاص بوصف عمليات Wire Drawing بعد الجلفنة .
- التعرف على العلاقة بين سرعة السحب وجودة المنتج النهائي .
- اختيار بعض مؤشرات الجودة التي يمكن متابعتها من خلال MES.
- دعم مناقشة نتائج الدراسة الحالية عند تفسير تأثير التحول الرقمي على استقرار العمليات التشغيلية .

تعليق الباحث

تتميز هذه الدراسة بأنها تعالج أحد أهم التحديات الفنية في مصانع الأسلاك المجلفنة، وهو الحفاظ على جودة طبقة الزنك أثناء عمليات السحب عالية السرعة. إلا أن نجاح التحكم في هذه المتغيرات داخل المصنع لا يعتمد على الجوانب الهندسية فقط، بل يتطلب أيضاً وجود نظام رقمي قادر على جمع البيانات التشغيلية وتحليلها بصورة لحظية، وربطها بقرارات التشغيل والتحسين المستمر.

ومن هنا تبرز أهمية الدراسة الحالية، التي تسعى إلى بيان كيف يمكن للتكامل بين Manufacturing Execution System (MES) وLean Manufacturing أن يحول هذه البيانات الفنية إلى قرارات تشغيلية ترفع الإنتاجية، وتقلل الهدر، وتحسن جودة المنتج، وتعزز كفاءة خطوط Wire Drawing وHot-Dip Galvanizing داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

الدراسة الثانية عشرة

Suliga, M. (2022)

The Effect of Drawing in Conventional and Hydrodynamic Dies on Structure and Corrosion Resistance of Hot-Dip Galvanized Zinc Coatings on Medium-Carbon Steel Wire

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل تأثير تكنولوجيا سحب الأسلاك بعد الجلفنة على جودة طبقة الزنك، ومقاومة التآكل، والخواص الميكانيكية للأسلاك المجلفنة، مع مقارنة استخدام Conventional Dies و Hydrodynamic Dies في خطوط السحب متعددة المراحل.

كما هدفت الدراسة إلى تحديد أفضل ظروف التشغيل التي تحقق المحافظة على سمك طبقة الزنك، وتحسين مقاومة التآكل، وتقليل احتمالات تلف الطلاء أثناء عمليات السحب عالية السرعة.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحث على دراسة تجريبية صناعية (Industrial Experimental Study) أجريت داخل مصنع لإنتاج الأسلاك المجلفنة، حيث تم تنفيذ عمليات السحب بسرعات وزوايا مختلفة باستخدام نوعين من قوالب السحب.

وشملت الدراسة قياس عدد من المؤشرات الفنية، من أهمها:

- سمك طبقة الزنك .
- مقاومة التآكل .
- الإجهادات المتبقية (Residual Stresses).
- الخواص الميكانيكية للأسلاك .
- تأثير سرعة السحب على جودة المنتج النهائي .

كما استخدمت الدراسة الفحص المجهرى وتحليل البنية المعدنية لتقييم تأثير ظروف التشغيل على طبقة الجلفنة .

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، كان من أبرزها:

- أظهرت النتائج أن سرعة السحب تعد من أكثر العوامل تأثيراً في جودة طبقة الزنك، حيث يؤدي ارتفاع السرعة إلى زيادة إزالة الزنك من سطح السلك نتيجة الاحتكاك داخل قوالب السحب .
- بينت الدراسة أن استخدام **Hydrodynamic Dies** ساعد على تحسين ظروف التشحيم وتقليل الاحتكاك، مما أدى إلى المحافظة على سمك طبقة الزنك وتحسين مقاومة التآكل مقارنة بالقوالب التقليدية .
- أوضحت النتائج أن زيادة سرعة السحب وزاوية قالب السحب تؤدي إلى ارتفاع **Residual Stresses** داخل السلك، وهو ما يؤثر في قابلية التشكيل اللاحقة وفي جودة المنتج النهائي .
- أكدت الدراسة أن اختيار ظروف التشغيل المناسبة يساهم في تحقيق توازن بين الإنتاجية والمحافظة على جودة طبقة الجلفنة، وهو ما يعد من أهم عوامل نجاح مصانع الأسلاك المجلفنة .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أقرب الدراسات إلى موضوع الرسالة الحالية، لأنها تناولت بصورة مباشرة **Wire Drawing of Hot-Dip Galvanized Steel Wire**، وهي نفس العملية الإنتاجية التي تركز عليها الدراسة الحالية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في اهتمامها بتحسين جودة المنتج ورفع كفاءة التشغيل، إلا أنها تختلف عنها في أن تركيزها ينصب على المتغيرات الهندسية للعملية، بينما تركز الدراسة الحالية على إدارة العملية التشغيلية باستخدام **Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing**.

ففي حين تبحث الدراسة الحالية كيفية مراقبة سرعة السحب، والتوقفات، والجودة، والهدر، والإنتاجية لحظياً من خلال **MES**، فإن هذه الدراسة تركز على التأثير الفيزيائي لهذه المتغيرات على خصائص السلك المجلفن.

التحليل النقدي

تمثل الدراسة مرجعاً هندسياً مهماً في مجال تصنيع الأسلاك المجلفنة، إلا أنها ركزت على الجوانب المعدنية والميكانيكية للعملية، ولم تتناول الجوانب الإدارية أو الرقمية المرتبطة بإدارة المصنع.

كما لم تبحث الدراسة:

- تطبيق **Manufacturing Execution System (MES)**.
- استخدام **Real-Time Production Data**.
- مؤشرات الأداء التشغيلية (KPIs).
- **Overall Equipment Effectiveness (OEE)**.
- التكامل بين الإنتاج والصيانة والجودة.
- تطبيق **Lean Manufacturing**.
- التحسين المستمر المبني على البيانات.

وبالتالي فإن الدراسة الحالية تكمل هذا النقص من خلال دمج الجانب الفني مع الجانب الإداري والرقمي داخل بيئة تشغيل صناعية متكاملة.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في:

- تحديد أهم المتغيرات الفنية المؤثرة في جودة طبقة الجلفنة.
- دعم الفصل الخاص بوصف عمليات **Wire Drawing** بعد الجلفنة.
- التعرف على العلاقة بين سرعة السحب وجودة المنتج النهائي.
- اختيار بعض مؤشرات الجودة التي يمكن متابعتها من خلال **MES**.

- دعم مناقشة نتائج الدراسة الحالية عند تفسير تأثير التحول الرقمي على استقرار العمليات التشغيلية .

تعليق الباحث

تتميز هذه الدراسة بأنها تعالج أحد أهم التحديات الفنية في مصانع الأسلاك المجلفنة، وهو الحفاظ على جودة طبقة الزنك أثناء عمليات السحب عالية السرعة. إلا أن نجاح التحكم في هذه المتغيرات داخل المصنع لا يعتمد على الجوانب الهندسية فقط، بل يتطلب أيضاً وجود نظام رقمي قادر على جمع البيانات التشغيلية وتحليلها بصورة لحظية، وربطها بقرارات التشغيل والتحسين المستمر.

ومن هنا تبرز أهمية الدراسة الحالية، التي تسعى إلى بيان كيف يمكن للتكامل بين **Manufacturing Execution System** و **Lean Manufacturing** (MES) أن يحول هذه البيانات الفنية إلى قرارات تشغيلية ترفع الإنتاجية، وتقلل الهدر، وتحسن جودة المنتج، وتعزز كفاءة خطوط **Wire Drawing** و **Hot-Dip Galvanizing** داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

الدراسة الثالثة عشرة

Fischer, M., et al. (2022)

The Impact of Manufacturing Execution Systems on the Digital Transformation of Production Systems: Development of an MES Maturity Model

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تطوير نموذج لقياس مدى مساهمة **Manufacturing Execution System (MES)** في دعم **Digital Transformation** داخل المصانع، مع التركيز على شركات الصناعات المعدنية والإنتاج المنفصل (**Discrete Manufacturing**).

كما سعت إلى بناء **MES Maturity Model** يمكن من خلاله تقييم درجة نضج المصنع رقمياً قبل وبعد تطبيق النظام، وربط ذلك بتحسين الأداء التشغيلي .

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج التطبيقي، حيث قام الباحثون بتطوير نموذج لقياس نضج تطبيق MES اعتماداً على معايير ISA-95 ومستويات التكامل بين أنظمة ERP وخطوط الإنتاج، ثم تم اختبار النموذج على عدد من المنشآت الصناعية التي نفذت مشاريع تحول رقمي، مع تحليل أثر ذلك على العمليات التشغيلية ومؤشرات الأداء .

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

- يمثل **MES** العنصر المحوري في التحول الرقمي للمصانع، لأنه يربط بين أنظمة **ERP** والإنتاج الفعلي داخل المصنع، ويوفر بيانات تشغيلية لحظية تساعد على تحسين اتخاذ القرار .
- أوضحت الدراسة أن المؤسسات التي حققت مستويات مرتفعة من نضج تطبيق **MES** سجلت تحسناً في :
 - شفافية العمليات التشغيلية .
 - سرعة الاستجابة للمشكلات .
 - دقة البيانات .
 - متابعة أوامر الإنتاج .
 - كفاءة استخدام الموارد .
- بينت الدراسة أن نجاح مشروع **Digital Transformation** يعتمد على وجود خطة تدريجية لتطوير العمليات، وليس على تركيب النظام دفعة واحدة، مع ضرورة قياس مستوى النضج في كل مرحلة من مراحل التطبيق .
- أكدت الدراسة أن **MES Maturity Model** يعد أداة فعالة لتقييم جاهزية المصنع للتوسع في تطبيقات **Industry 4.0** .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تكتسب هذه الدراسة أهمية خاصة بالنسبة للبحث الحالي، لأنها تربط بصورة مباشرة بين MES و Digital Transformation، وهو نفس المشروع الذي يجري تنفيذه داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في أن نجاح مشروع MES لا يقاس بمجرد تشغيل النظام، وإنما بمدى تأثيره في تحسين الأداء التشغيلي ورفع مستوى نضج العمليات الصناعية.

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها ستقيس أثر التكامل بين MES و Lean Manufacturing داخل بيئة صناعية متخصصة هي Wire Drawing و Hot-Dip Galvanizing، وليس فقط مستوى النضج الرقمي للمصنع.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت نموذجاً علمياً مهماً لتقييم نضج تطبيق MES، فإنها ركزت بصورة رئيسة على قياس جاهزية التحول الرقمي، ولم تتناول بصورة تفصيلية أثر النظام على مؤشرات تشغيلية متخصصة داخل مصانع الصلب أو مصانع الأسلاك.

كما لم تبحث الدراسة العلاقة بين MES و Lean Manufacturing، ولم تركز على مؤشرات مثل:

- نسبة الهدر (Scrap Rate).
- إنتاجية خطوط السحب (Wire Drawing Productivity).
- جودة طبقة الجلفنة.
- زمن تغيير المقاسات (Setup Time).
- كفاءة أحواض الجلفنة.
- استهلاك الزنك.
- السلامة وبيئة العمل.

وهذه الجوانب تمثل المحاور الرئيسة للدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في:

- بناء التصور العام لمشروع التحول الرقمي داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك .
- الاستفادة من مفهوم **MES Maturity Model** لتقييم مرحلة التطبيق الحالية .
- دعم الإطار النظري الخاص بالعلاقة بين MES و **Digital Transformation** .
- الاستفادة من مؤشرات نضج المشروع عند مناقشة نتائج الدراسة .
- دعم التوصيات المتعلقة بالتوسع في تطبيق النظام داخل بقية مصانع الشركة .

تعليق الباحث

تعد هذه الدراسة من الدراسات المهمة التي انتقلت بموضوع MES من مجرد نظام لإدارة الإنتاج إلى أداة استراتيجية لدعم **Digital Transformation**، إلا أنها لم تتناول التكامل مع **Lean Manufacturing**، ولم تطبق النموذج داخل قطاع **Steel Wire Manufacturing**.

وتتميز الدراسة الحالية بأنها لا تقتصر على تقييم نضج تطبيق النظام، بل تقيس الأثر الفعلي للتكامل بين MES و **Lean Manufacturing** على مؤشرات الأداء التشغيلي في خطوط سحب وجلفنة الأسلاك، وهو ما يمثل إضافة علمية وتطبيقية واضحة للأدبيات الحالية.

الدراسة الثالثة عشرة

Fischer, M., et al. (2022)

**The Impact of Manufacturing Execution Systems on the Digital Transformation of Production Systems:
Development of an MES Maturity Model**

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تطوير نموذج لقياس مدى مساهمة **Manufacturing Execution System (MES)** في دعم **Digital Transformation** داخل المصانع، مع التركيز على شركات الصناعات المعدنية والإنتاج المنفصل (**Discrete Manufacturing**). كما سعت إلى بناء **MES Maturity Model** يمكن من خلاله تقييم درجة نضج المصنع رقمياً قبل وبعد تطبيق النظام، وربط ذلك بتحسين الأداء التشغيلي.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج التطبيقي، حيث قام الباحثون بتطوير نموذج لقياس نضج تطبيق **MES** اعتماداً على معايير **ISA-95** ومستويات التكامل بين أنظمة **ERP** وخطوط الإنتاج، ثم تم اختبار النموذج على عدد من المنشآت الصناعية التي نفذت مشاريع تحول رقمي، مع تحليل أثر ذلك على العمليات التشغيلية ومؤشرات الأداء.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، من أبرزها:

- يمثل **MES** العنصر المحوري في التحول الرقمي للمصانع، لأنه يربط بين أنظمة **ERP** والإنتاج الفعلي داخل المصنع، ويوفر بيانات تشغيلية لحظية تساعد على تحسين اتخاذ القرار.
- أوضحت الدراسة أن المؤسسات التي حققت مستويات مرتفعة من نضج تطبيق **MES** سجلت تحسناً في:
 - شفافية العمليات التشغيلية.
 - سرعة الاستجابة للمشكلات.
 - دقة البيانات.
 - متابعة أوامر الإنتاج.

- كفاءة استخدام الموارد .
- بينت الدراسة أن نجاح مشروع Digital Transformation يعتمد على وجود خطة تدريجية لتطوير العمليات، وليس على تركيب النظام دفعة واحدة، مع ضرورة قياس مستوى النضج في كل مرحلة من مراحل التطبيق .
- أكدت الدراسة أن MES Maturity Model يعد أداة فعالة لتقييم جاهزية المصنع للتوسع في تطبيقات Industry 4.0.

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تكتسب هذه الدراسة أهمية خاصة بالنسبة للبحث الحالي، لأنها تربط بصورة مباشرة بين MES و Digital Transformation، وهو نفس المشروع الذي يجري تنفيذه داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في أن نجاح مشروع MES لا يقاس بمجرد تشغيل النظام، وإنما بمدى تأثيره في تحسين الأداء التشغيلي ورفع مستوى نضج العمليات الصناعية.

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها ستقيس أثر التكامل بين MES و Lean Manufacturing داخل بيئة صناعية متخصصة هي Wire Drawing و Hot-Dip Galvanizing، وليس فقط مستوى النضج الرقمي للمصنع.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت نموذجاً علمياً مهماً لتقييم نضج تطبيق MES، فإنها ركزت بصورة رئيسة على قياس جاهزية التحول الرقمي، ولم تتناول بصورة تفصيلية أثر النظام على مؤشرات تشغيلية متخصصة داخل مصانع الصلب أو مصانع الأسلاك.

كما لم تبحث الدراسة العلاقة بين MES و Lean Manufacturing، ولم تركز على مؤشرات مثل:

- نسبة الهدر (Scrap Rate).
- إنتاجية خطوط السحب (Wire Drawing Productivity).

- جودة طبقة الجلفنة .
- زمن تغيير المقاسات .(Setup Time)
- كفاءة أحواض الجلفنة .
- استهلاك الزنك .
- السلامة وبيئة العمل .

وهذه الجوانب تمثل المحور الرئيس للدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في:

- بناء التصور العام لمشروع التحول الرقمي داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك .
- الاستفادة من مفهوم **MES Maturity Model** لتقييم مرحلة التطبيق الحالية .
- دعم الإطار النظري الخاص بالعلاقة بين **MES** و **Digital Transformation** .
- الاستفادة من مؤشرات نضج المشروع عند مناقشة نتائج الدراسة .
- دعم التوصيات المتعلقة بالتوسع في تطبيق النظام داخل بقية مصانع الشركة .

تعليق الباحث

تعد هذه الدراسة من الدراسات المهمة التي انتقلت بموضوع **MES** من مجرد نظام لإدارة الإنتاج إلى أداة استراتيجية لدعم **Digital Transformation**، إلا أنها لم تتناول التكامل مع **Lean Manufacturing**، ولم تطبق النموذج داخل قطاع **Steel Wire Manufacturing**.

وتتميز الدراسة الحالية بأنها لا تقتصر على تقييم نضج تطبيق النظام، بل تقيس الأثر الفعلي للتكامل بين MES و Lean Manufacturing على مؤشرات الأداء التشغيلي في خطوط سحب وجلفنة الأسلاك، وهو ما يمثل إضافة علمية وتطبيقية واضحة للأدبيات الحالية.

رأي كمشرف أكاديمي

بعد مراجعة الدراسات الثلاث عشرة التي أعدناها، أرى أن لدينا الآن أساسًا علميًا قويًا، لكن ما زلت أرغب في إضافة 3 إلى 5 دراسات من شركات الصلب العالمية (Steel Plants) التي نفذت مشاريع MES أو Digital Transformation، لأن ذلك سيقرب الأدبيات أكثر من بيئة شركة اتحاد مصانع الأسلاك ويجعل مناقشة النتائج أكثر قوة. كما أن تقارير قطاع الصلب الأوروبي تشير إلى أن دمج ERP و MES أصبح محورًا رئيسيًا لتحقيق التصنيع الذكي في مصانع المعادن والصلب.

وأرى أن هذه الدراسات ستكون آخر مجموعة قبل أن ننتقل إلى جدول المقارنة بين الدراسات السابقة ثم الفجوة البحثية (Research Gap)، والتي أتوقع أن تكون من أقوى أجزاء الرسالة.

التالي

ممتاز، الآن سندخل إلى الدراسات التطبيقية في مصانع الصلب (Steel Plants)، وأرى أن هذه الدراسات ستكون من أقوى ما في الرسالة، لأنها ستقرب القارئ من بيئة شركة اتحاد مصانع الأسلاك أكثر من أي دراسات أخرى.

الدراسة الرابعة عشرة

Zhong, X. T., Wang, Q. Y., Yan, X. L., Zhao, M. J. & Shia, A. S. (2025)

Analysis of Digital Transformation in the Iron and Steel Industry: A Case Study of B Steel Zhanjiang

المجلة/Asian Business Research Journal :

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى تحليل تجربة التحول الرقمي في إحدى أكبر شركات الحديد والصلب الصينية (B Steel Zhanjiang Iron & Steel)، مع التركيز على كيفية توظيف Big Data و Artificial Intelligence والمنصات الرقمية لإعادة تصميم العمليات التشغيلية، وتحسين التكامل بين البيانات والعمليات الإنتاجية، وتحديد التحديات التي ظهرت خلال مراحل التطبيق المتقدمة، واقتراح الحلول المناسبة لها.

منهجية الدراسة

اعتمد الباحثون على دراسة حالة تطبيقية (Case Study)، حيث تم تحليل مشروع التحول الرقمي الذي نفذته الشركة منذ عام 2016، والذي تضمن إنشاء منصة Baocloud وتطوير منظومة Smart Engineering لربط العمليات التشغيلية والبيانات الصناعية في بيئة رقمية متكاملة.

كما استخدمت الدراسة Fishbone Diagram لتحليل أسباب المشكلات التي ظهرت أثناء مراحل التطبيق، مع دراسة تأثير العوامل البشرية، والأنظمة التقنية، والإجراءات التشغيلية، والبيئة التنظيمية في نجاح المشروع.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج المهمة، كان من أبرزها:

- أسهم مشروع التحول الرقمي في تحقيق تكامل ثنائي الاتجاه بين العمليات الصناعية والبيانات التشغيلية، مما أدى إلى تحسين سرعة اتخاذ القرار ورفع مستوى الشفافية داخل المصنع.
- أوضحت الدراسة أن نجاح المشروع لم يعتمد على التكنولوجيا فقط، بل تطلب إعادة تصميم العمليات، وتطوير مهارات العاملين، وتحسين التكامل بين الأنظمة المختلفة.

- بينت النتائج أن من أبرز التحديات التي واجهت المشروع:
 - ضعف مهارات بعض العاملين في استخدام الأنظمة الرقمية .
 - مشكلات توافق الأنظمة القديمة مع الأنظمة الجديدة .
 - ارتفاع تكاليف الصيانة التقنية .
 - الحاجة إلى تحسين بعض الإجراءات التشغيلية المحلية .
- أوصت الدراسة بضرورة تطبيق **Lean Management** بالتوازي مع التحول الرقمي، وتعزيز التدريب المستمر، وتطوير البنية الرقمية، وتحسين إدارة البيانات لتحقيق أفضل نتائج ممكنة .

علاقة الدراسة بالبحث الحالي

تعد هذه الدراسة من أقرب الدراسات إلى موضوع الرسالة الحالية، لأنها أجريت داخل شركة حديد وصلب، وركزت على **Digital Transformation** في بيئة إنتاج معدنية ذات عمليات تشغيلية معقدة.

كما تتفق مع الدراسة الحالية في عدة جوانب، منها:

- تنفيذ مشروع تحول رقمي داخل مصنع قوائم .
- إعادة تصميم العمليات التشغيلية .
- تحسين جودة البيانات الصناعية .
- دعم اتخاذ القرار باستخدام البيانات .
- تطوير كفاءة العاملين .
- تحسين الأداء التشغيلي .

إلا أن الدراسة الحالية تختلف عنها في أنها تركز بصورة أكثر تحديداً على التكامل بين **Manufacturing Execution System** و **MES** و **Lean Manufacturing** داخل خطوط **Wire Drawing** و **Hot-Dip Galvanizing**، مع قياس أثر هذا التكامل على مؤشرات أداء تشغيلية محددة.

التحليل النقدي

على الرغم من أن الدراسة قدمت تجربة عملية مهمة في قطاع الحديد والصلب، فإنها ركزت على التحول الرقمي على مستوى المؤسسة، ولم تتناول بصورة تفصيلية دور **Manufacturing Execution System (MES)** باعتباره النظام المسؤول عن إدارة العمليات التشغيلية على مستوى أرض المصنع.

كما لم تتناول الدراسة قياس أثر التحول الرقمي على مؤشرات تشغيلية متخصصة مثل:

- Overall Equipment Effectiveness (OEE).
- Scrap Rate.
- Production Throughput.
- Downtime Analysis.
- Setup Time.
- Yield Rate.
- جودة طبقة الجلفنة.
- إنتاجية خطوط سحب الأسلاك.

إضافة إلى ذلك، لم تبحث الدراسة بصورة مباشرة التكامل بين **Lean Manufacturing** وأنظمة **MES**، وهو ما يمثل المحور الرئيس للدراسة الحالية.

أوجه الاستفادة من الدراسة الحالية

استفاد الباحث من هذه الدراسة في:

- التعرف على مراحل تنفيذ مشروع التحول الرقمي في مصنع حديد وصلب كبير.
- الاستفادة من التحديات التنظيمية والبشرية المرتبطة بالتحول الرقمي.
- دعم الإطار النظري الخاص بعوامل نجاح مشاريع **Digital Transformation**.
- الاستفادة من أدوات تحليل الأسباب الجذرية للمشكلات أثناء تنفيذ المشروع.

- دعم مناقشة نتائج الدراسة الحالية فيما يتعلق بإدارة التغيير، وتأهيل العاملين، والتوسع المستقبلي في تطبيق MES داخل مصانع الشركة.

تعليق الباحث

تمثل هذه الدراسة مرجعاً تطبيقياً مهماً لأنها توثق تجربة حقيقية للتحويل الرقمي في قطاع الحديد والصلب، وتؤكد أن نجاح المشروع يعتمد على التكامل بين التكنولوجيا، والعمليات، والعامل البشري، وليس على شراء الأنظمة الرقمية فقط.

إلا أن الدراسة الحالية تقدم إضافة جديدة للأدبيات، حيث لا تقتصر على دراسة التحويل الرقمي على مستوى المؤسسة، وإنما تركز على قياس الأثر التشغيلي المباشر للتكامل بين Manufacturing Execution System (MES) و Lean Manufacturing داخل خطوط سحب وجلفنة الأسلاك، باستخدام بيانات تشغيلية فعلية ومؤشرات أداء قابلة للقياس، وهو ما لم تتناوله هذه الدراسة بصورة مباشرة.

الفجوة البحثية (Research Gap)

من خلال مراجعة وتحليل الدراسات السابقة، يتضح أن الاهتمام العلمي بموضوع التحويل الرقمي في القطاع الصناعي قد شهد تطوراً ملحوظاً خلال السنوات الأخيرة، حيث تناولت العديد من الدراسات تطبيقات Digital Transformation و Industry 4.0 ودورها في تحسين كفاءة العمليات الصناعية ورفع القدرة التنافسية للمؤسسات الإنتاجية. كما ركزت مجموعة أخرى من الدراسات على تطبيق Manufacturing Execution System (MES) باعتباره أحد الأنظمة الرئيسة لإدارة العمليات التشغيلية داخل المصانع، بينما اهتمت دراسات أخرى بتطبيق Lean Manufacturing بوصفها إحدى أهم منهجيات التحسين المستمر وتقليل الهدر.

وفي المقابل، أظهرت مراجعة الأدبيات وجود عدد من الدراسات الهندسية التي تناولت عمليات Hot-Dip و Wire Drawing و Galvanizing، إلا أن معظمها ركز على الجوانب الفنية المتعلقة بسرعة السحب، وزوايا قوالب السحب، وجودة طبقة الزنك، واستهلاك الطاقة، ومقاومة التآكل، والخواص الميكانيكية للأسلاك، دون التوسع في دراسة الجوانب الإدارية والتشغيلية المرتبطة بإدارة خطوط الإنتاج.

كما تبين أن الدراسات المتعلقة بتطبيق MES ركزت بصورة رئيسة على قطاعات صناعية مثل صناعة السيارات، والإلكترونيات، والأدوية، والصناعات التحويلية العامة، في حين أن الدراسات التي تناولت **Lean Manufacturing** انصبحت على تحسين العمليات وتقليل الهدر في قطاعات صناعية متنوعة، دون أن تربط بصورة مباشرة بين MES و**Lean Manufacturing** داخل مصانع تصنيع الأسلاك الحديدية.

أما الدراسات التي تناولت قطاع الحديد والصلب، فقد ركزت غالباً على مصانع الصلب المتكاملة (**Integrated Steel Plants**) أو على مشروعات التحول الرقمي على مستوى المؤسسة، ولم تتناول قطاع **Steel Wire Downstream Manufacturing** الذي يبدأ من **Wire Rod** وينتهي بإنتاج الأسلاك المسحوبة، والأسلاك المجلفنة، وشبك السياج، والسلك الشائك، والشبك الملحوم، وغيرها من المنتجات النهائية.

وبناءً على ذلك، يمكن تحديد الفجوة البحثية في النقاط الآتية:

1. ندرة الدراسات التطبيقية التي تناولت التكامل بين **Lean Manufacturing Execution System (MES)** و **Lean Manufacturing** داخل قطاع **Steel Wire Downstream Manufacturing**.
2. عدم وجود دراسة – في حدود ما اطلع عليه الباحث – تناولت أثر هذا التكامل داخل خطوط **Hot-Wire Drawing** و **Dip Galvanizing** في مصانع الأسلاك الحديدية، مع قياس أثره على مؤشرات الأداء التشغيلي.
3. ركزت معظم الدراسات السابقة على الجوانب الهندسية لعمليات السحب والجلفنة، بينما لم تتناول أثر التحول الرقمي في إدارة العمليات التشغيلية، أو تحسين تدفق المعلومات، أو دعم اتخاذ القرار داخل هذه الخطوط.
4. اقتصر أغلب الدراسات على تحليل تأثير تطبيق MES أو **Lean Manufacturing** بصورة منفصلة، بينما لم تبحث بصورة كافية الأثر التكاملي بينهما في تحسين الأداء التشغيلي.
5. لم تتناول الدراسات السابقة بصورة شاملة مؤشرات الأداء التشغيلية المناسبة لقطاع تصنيع الأسلاك الحديدية، مثل:
 - إنتاجية خطوط السحب.
 - إنتاجية خطوط الجلفنة.
 - نسبة الهدر (**Scrap Rate**).
 - كفاءة تشغيل المعدات (**Overall Equipment Effectiveness – OEE**).
 - التوقفات غير المخططة (**Unplanned Downtime**).
 - جودة طبقة الجلفنة.
 - الالتزام بخطة الإنتاج.

- كفاءة استهلاك المواد الخام والطاقة .
 - السلامة والصحة المهنية داخل بيئة التشغيل .
6. لا توجد دراسات ميدانية منشورة – في حدود مراجعة الباحث للأدبيات – تناولت هذا الموضوع داخل مصنع أسلاك حديدية في المملكة العربية السعودية، رغم توجه القطاع الصناعي السعودي نحو التحول الرقمي وتطبيق مبادرات الثورة الصناعية الرابعة .

وانطلاقاً من هذه الفجوة، تأتي الدراسة الحالية لتقديم نموذج تطبيقي يقيس أثر التكامل بين Manufacturing Execution System (MES) وLean Manufacturing في تحسين الأداء التشغيلي لخطوط Wire Drawing و Hot-Dip Galvanizing داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك، اعتماداً على بيانات تشغيلية فعلية قبل التطبيق وبعده، وبما يساهم في تقديم إضافة علمية وعملية يمكن الاستفادة منها في قطاع Steel Wire Downstream Manufacturing.

المنطلقات النظرية للدراسة

الإطار النظري والخلفية الصناعية للدراسة

تمهيد الفصل

يعد الإطار النظري أحد الركائز الأساسية التي تستند إليها البحوث العلمية، إذ يوفر الأساس المفاهيمي الذي يفسر العلاقات بين متغيرات الدراسة، ويساعد في بناء النموذج البحثي وصياغة الفرضيات وتفسير النتائج في ضوء الأدبيات العلمية ذات الصلة. ومع التطور المتسارع الذي يشهده القطاع الصناعي نتيجة التوسع في تطبيقات الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0)، أصبحت المؤسسات الصناعية مطالبة بتبني حلول رقمية متقدمة تضمن رفع كفاءة العمليات التشغيلية، وتعزيز القدرة التنافسية، وتحقيق الاستدامة في بيئة أعمال تتسم بسرعة التغير وارتفاع متطلبات العملاء.

ويعد نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) أحد أهم الأنظمة الرقمية التي ظهرت لدعم إدارة العمليات التشغيلية داخل المصانع، حيث يربط بين التخطيط المؤسسي والعمليات الإنتاجية الفعلية، ويوفر بيانات تشغيلية لحظية تساعد في تحسين الرقابة على الإنتاج، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتقليل الفاقد، ودعم اتخاذ القرار. وفي المقابل، تمثل

منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) إحدى أكثر منهجيات التحسين المستمر انتشاراً في القطاع الصناعي، إذ تهدف إلى تعظيم القيمة المقدمة للعميل من خلال التخلص من الأنشطة التي لا تضيف قيمة، وتحسين تدفق العمليات، وتقليل الهدر، وتعزيز ثقافة التحسين المستمر.

وعلى الرغم من أن الأدبيات العلمية تناولت كلا الموضوعين بصورة مستقلة، فإن الاتجاهات الحديثة تشير إلى أن تحقيق أفضل النتائج التشغيلية لا يعتمد على تطبيق أي منهما بصورة منفردة، بل على التكامل بين الأنظمة الرقمية ومنهجيات التحسين المستمر، بحيث تعمل البيانات اللحظية التي يوفرها MES على دعم تطبيق أدوات Lean Manufacturing بصورة أكثر دقة وفاعلية، مما يساهم في تحسين الأداء التشغيلي ورفع كفاءة العمليات الصناعية.

وتكتسب هذه الدراسة أهمية إضافية لكونها تطبق هذا المفهوم داخل قطاع تصنيع الأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing)، وهو أحد القطاعات الصناعية المتخصصة التي تتميز بتعدد العمليات الإنتاجية وتنوع المنتجات وارتفاع متطلبات الجودة. وتبدأ هذه الصناعة باستلام لفائف قضبان الأسلاك (Wire Rod)، ثم تمر بسلسلة من العمليات تشمل السحب البارد، والمعالجة الحرارية، والجلفنة بالغمر الساخن، والطلاء، والتشكيل، وصولاً إلى المنتجات النهائية مثل الأسلاك المجلفنة، والأسلاك المدنة، وشبك السياج، والسلك الشائك، والشبك الملحوم، وعلاقات الملابس، والمسامير، وغيرها من المنتجات.

ورغم الأهمية الاقتصادية لهذا القطاع، فإن مراجعة الأدبيات العلمية أظهرت محدودية الدراسات التي تناولت تطبيق MES و Lean Manufacturing داخل مصانع تصنيع الأسلاك الحديدية، في حين ركزت معظم الدراسات على الجوانب الهندسية المتعلقة بعمليات السحب والجلفنة أو على تطبيقات التحول الرقمي في قطاعات صناعية أخرى. ومن هنا تأتي أهمية هذا الفصل، الذي لا يقتصر على استعراض المفاهيم النظرية، بل يقدم خلفية صناعية متخصصة تشرح طبيعة صناعة الأسلاك الحديدية، وخصائصها التشغيلية، والتحديات التي تواجهها، والعلاقة بين التحول الرقمي ومنهجيات التحسين المستمر في هذا القطاع.

وانطلاقاً من ذلك، يتناول هذا الفصل الخلفية الصناعية لصناعة الأسلاك الحديدية، ثم يستعرض مفاهيم التحول الرقمي والثورة الصناعية الرابعة، ونظام إدارة تنفيذ التصنيع، ومنهجية التصنيع الرشيق، والأداء التشغيلي، مع توضيح أوجه التكامل بينها، وصولاً إلى بناء الإطار النظري الذي تستند إليه الدراسة الحالية.

2.1 صناعة الأسلاك الحديدية (Steel Wire Downstream Manufacturing)

2.1.1 نبذة عن صناعة الأسلاك الحديدية

تعد صناعة الأسلاك الحديدية إحدى الصناعات التحويلية الرئيسة في سلسلة القيمة الخاصة بصناعة الحديد والصلب، حيث تعتمد على تحويل قضبان الأسلاك (Wire Rod) المنتجة في مصانع الصلب إلى مجموعة واسعة من المنتجات النهائية ذات الاستخدامات الصناعية والإنشائية والزراعية والتجارية. وتندرج هذه الصناعة ضمن قطاع Steel Wire Downstream Manufacturing، الذي يمثل الحلقة اللاحقة لإنتاج الصلب، ويتميز بتركيزه على عمليات المعالجة والتشكيل وإضافة القيمة بدلاً من إنتاج الفولاذ الخام.

وتلعب هذه الصناعة دورًا محوريًا في دعم العديد من القطاعات الاقتصادية، مثل قطاع التشييد والبناء، والبنية التحتية، والطاقة، والاتصالات، والزراعة، وصناعة السيارات، والصناعات التحويلية، نظرًا لاعتماد هذه القطاعات على منتجات الأسلاك الفولاذية بمختلف أنواعها ومواصفاتها. كما شهد هذا القطاع خلال السنوات الأخيرة نموًا ملحوظًا مدفوعًا بزيادة الطلب العالمي على منتجات البنية التحتية، والتوسع في مشاريع الإسكان، وارتفاع الاستثمارات في شبكات الكهرباء والاتصالات، بالإضافة إلى توجه العديد من الدول نحو تطوير الصناعات التحويلية ذات القيمة المضافة.

وتبدأ عملية التصنيع باستلام لفائف قضبان الأسلاك (Wire Rod) بأقطار مختلفة، وغالبًا ما تتراوح بين 5.5 مم و6.5 مم، مع استخدام أقطار أكبر لبعض التطبيقات الخاصة. ثم تخضع هذه القضبان لسلسلة من العمليات الصناعية التي تهدف إلى الوصول إلى الأقطار والخواص الميكانيكية المطلوبة وفقًا لمتطلبات المنتج النهائي.

وتتضمن هذه العمليات إزالة القشور والأكاسيد السطحية، ثم السحب البارد عبر مجموعة من قوالب السحب المتتابعة للحصول على القطر المطلوب، يلي ذلك - حسب نوع المنتج - عمليات المعالجة الحرارية أو الجلفنة بالغمر الساخن أو الطلاء بمادة البولي فينيل كلوريد، قبل الانتقال إلى عمليات التشكيل أو التعبئة أو التصنيع النهائي.

وتنتج مصانع الأسلاك الحديدية طيفًا واسعًا من المنتجات، من أهمها:

- الأسلاك السوداء. (Black Annealed Wire)
- الأسلاك المجلفنة. (Galvanized Steel Wire)
- أسلاك الربط. (Baling Wire)
- الأسلاك المطلية بالبولي فينيل كلوريد. (PVC Coated Wire)
- شبك السياج. (Chain Link Fence)
- السلك الشائك. (Barbed Wire)

- الشبك الملحوم (Welded Wire Mesh).
- المسامير بمختلف أنواعها (Wire Nails).
- علاقات الملابس السلكية (Wire Hangers).
- أسلاك تدريع الكابلات (Cable Armour Wire).
- الأسلاك عالية الشد المستخدمة في التطبيقات الكهربائية والإنشائية .

وتتميز هذه الصناعة بارتفاع درجة الاعتماد على دقة العمليات التشغيلية، إذ إن أي انحراف بسيط في سرعة السحب، أو جودة التشحيم، أو سمك طبقة الجلفنة، أو درجة حرارة أحواض الزنك، قد ينعكس مباشرة على جودة المنتج النهائي، ويؤدي إلى زيادة نسبة الهدر أو ارتفاع تكاليف الإنتاج.

كما تتسم مصانع الأسلاك الحديدية بتعدد خطوط الإنتاج، وكثرة أوامر التشغيل، والتنوع الكبير في المقاسات والمواصفات، الأمر الذي يزيد من تعقيد عمليات التخطيط والإنتاج، ويجعلها بحاجة إلى أنظمة رقمية متقدمة قادرة على إدارة البيانات التشغيلية بصورة لحظية، وتحسين التنسيق بين الإنتاج والجودة والصيانة والمخازن، وهو ما يبرز أهمية تطبيق Manufacturing Execution System (MES) بالتكامل مع Lean Manufacturing لتحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية.

2.1.2 تطور صناعة الأسلاك الحديدية (Development of Steel Wire Manufacturing)

تُعد صناعة الأسلاك الحديدية من أقدم الصناعات المعدنية التي شهدت تطوراً مستمراً عبر العقود الماضية، حيث ارتبط نموها بالتوسع الصناعي والعمراني الذي شهده العالم منذ الثورة الصناعية الأولى. فقد كانت عمليات إنتاج الأسلاك في بداياتها تعتمد على السحب اليدوي باستخدام أدوات بسيطة لإنتاج أسلاك ذات أقطار محدودة، وكانت تستخدم بصورة رئيسة في التطبيقات الزراعية والإنشائية البسيطة. ومع تطور صناعة الحديد والصلب وظهور معدات السحب الميكانيكية في القرن التاسع عشر، أصبحت عمليات إنتاج الأسلاك أكثر كفاءة، مما ساهم في زيادة الإنتاج وتحسين جودة المنتجات النهائية.

وخلال القرن العشرين شهدت صناعة الأسلاك الحديدية تطوراً كبيراً نتيجة التطور في تكنولوجيا إنتاج الصلب، وظهور ماكينات السحب متعددة المراحل (Multi-stage Drawing Machines)، بالإضافة إلى إدخال تقنيات المعالجة الحرارية والجلفنة بالغمر الساخن، الأمر الذي أتاح إنتاج أسلاك ذات خواص ميكانيكية عالية، ومقاومة أفضل للتآكل، وأعمار تشغيلية أطول.

ومع بداية القرن الحادي والعشرين، دخلت الصناعة مرحلة جديدة تمثلت في تبني مفاهيم التصنيع الذكي (Smart Manufacturing)، حيث لم يعد التركيز مقتصرًا على زيادة الطاقة الإنتاجية، بل أصبح موجهاً نحو تحسين كفاءة العمليات،

وتقليل الهدر، ورفع جودة المنتج، وتعزيز القدرة على تتبع المنتجات، وتحسين سرعة الاستجابة لمتطلبات العملاء. وقد ساهم هذا التحول في زيادة الاعتماد على الأنظمة الرقمية، مثل أنظمة تخطيط موارد المؤسسة (ERP)، وأنظمة إدارة تنفيذ التصنيع (MES)، وأنظمة الإشراف والتحكم وجمع البيانات (SCADA)، وتقنيات إنترنت الأشياء الصناعي (IIoT)، بهدف تحقيق التكامل بين مختلف مراحل العملية الإنتاجية.

كما أدى ظهور مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) إلى تغيير جوهري في فلسفة إدارة مصانع الأسلاك الحديدية، حيث أصبحت البيانات التشغيلية تمثل أحد أهم الأصول الاستراتيجية للمصنع، وأصبح اتخاذ القرار يعتمد بصورة متزايدة على التحليل الفوري للبيانات بدلاً من الاعتماد على التقارير الورقية أو الخبرة الشخصية فقط. وقد ساعد ذلك على تحسين تخطيط الإنتاج، ورفع كفاءة استخدام المواد الخام، وتقليل التوقفات غير المخططة، وتحسين جودة المنتجات، وزيادة مرونة خطوط الإنتاج في التعامل مع الطلبات المتنوعة.

ورغم هذا التطور الكبير، فإن درجة تبني تقنيات التحول الرقمي تختلف من مصنع إلى آخر، إذ ما تزال العديد من مصانع الأسلاك الحديدية، خاصة في الدول النامية، تعتمد بصورة كبيرة على إدخال البيانات يدوياً، واستخدام جداول البيانات التقليدية، مع محدودية التكامل بين الإنتاج والجودة والصيانة والمخازن. وهو ما يؤدي إلى انخفاض مستوى الشفافية التشغيلية، وصعوبة تتبع المنتجات، وتأخر اكتشاف الانحرافات التشغيلية، وضعف الاستفادة من البيانات المتاحة.

أما في المقابل، فقد اتجهت الشركات العالمية الرائدة في تصنيع الأسلاك الحديدية إلى الاستثمار في أنظمة التصنيع الذكي، وربط خطوط الإنتاج بالأنظمة الرقمية، وتطبيق منهجيات التحسين المستمر، بهدف الوصول إلى مصانع أكثر مرونة وكفاءة واستدامة. وقد أثبتت التجارب الصناعية أن الجمع بين التحول الرقمي ومنهجيات التصنيع الرشيق يمثل أحد أهم العوامل المؤثرة في تحسين الأداء التشغيلي وتعزيز القدرة التنافسية في هذه الصناعة.

وبناءً على ذلك، يمكن القول إن صناعة الأسلاك الحديدية تشهد حالياً تحولاً من نموذج التصنيع التقليدي إلى نموذج يعتمد على الإدارة الرقمية المتكاملة، حيث أصبحت القدرة على جمع البيانات التشغيلية وتحليلها والاستفادة منها في اتخاذ القرار تمثل عنصراً أساسياً لتحقيق التميز التشغيلي. ويعد نظام Manufacturing Execution System (MES) أحد أهم الأدوات التي تدعم هذا التحول، خاصة عند دمجها مع مبادئ Lean Manufacturing، وهو ما يمثل الأساس الذي تقوم عليه الدراسة الحالية.

2.1.3 الأهمية الاقتصادية لصناعة الأسلاك الحديدية

تمثل صناعة الأسلاك الحديدية أحد القطاعات الحيوية في الصناعات التحويلية المعدنية، حيث تشكل حلقة الوصل بين صناعة الحديد والصلب الأساسية وبين العديد من الصناعات النهائية التي تعتمد على منتجات الأسلاك في عملياتها الإنتاجية. وتنبع

أهمية هذه الصناعة من كونها تضيف قيمة اقتصادية مرتفعة إلى قضبان الأسلاك (Wire Rod) ، من خلال تحويلها إلى منتجات متنوعة تلبي احتياجات قطاعات متعددة، مثل الإنشاءات، والطاقة، والاتصالات، والزراعة، والنقل، والصناعات التحويلية.

وتسهم هذه الصناعة بصورة مباشرة في دعم مشروعات البنية التحتية، حيث تستخدم الأسلاك المجلفنة في شبكات نقل وتوزيع الكهرباء، وأنظمة الاتصالات، والأسوار الأمنية، والمنشآت الزراعية، كما تدخل منتجاتها في تصنيع الشبك الملحوم، والسلك الشائك، والمسامير، والكابلات، والعديد من المنتجات الصناعية الأخرى. ونتيجة لهذا التنوع، يرتبط الطلب على منتجات الأسلاك الحديدية ارتباطاً وثيقاً بالنمو الاقتصادي، والتوسع العمراني، والاستثمارات في مشروعات البنية التحتية.

ومن الناحية الصناعية، تتميز مصانع الأسلاك الحديدية بأنها تحقق قيمة مضافة مرتفعة مقارنة ببيع قضبان الأسلاك كمواد خام، حيث تعتمد القدرة التنافسية لهذه المصانع على جودة المنتج، وسرعة الاستجابة للطلبات، وكفاءة استخدام المواد الخام، ومستوى الإنتاجية، والقدرة على تقليل الهدر وتكاليف التشغيل. ولذلك أصبحت إدارة العمليات التشغيلية بكفاءة أحد أهم عوامل النجاح في هذا القطاع، خاصة في ظل المنافسة العالمية وارتفاع أسعار الطاقة والمواد الخام.

وفي المملكة العربية السعودية، يكتسب قطاع تصنيع الأسلاك الحديدية أهمية متزايدة في ظل مستهدفات رؤية المملكة 2030، التي تشجع على توطيد الصناعات التحويلية، وزيادة المحتوى المحلي، وتعزيز الصادرات غير النفطية، ورفع مستوى التحول الرقمي في القطاع الصناعي. كما تسهم المبادرات الوطنية، مثل برنامج مصانع المستقبل، في تشجيع المصانع على تبني تقنيات الثورة الصناعية الرابعة، ومن بينها أنظمة MES، بهدف رفع الكفاءة التشغيلية وتحسين القدرة التنافسية للمنتجات الوطنية.

ومن هذا المنطلق، فإن تحسين الأداء التشغيلي لمصانع الأسلاك الحديدية لا يمثل هدفاً داخلياً للمصنع فحسب، بل يعد عاملاً مؤثراً في تعزيز تنافسية القطاع الصناعي ككل، ودعم التنمية الاقتصادية، وتحقيق الاستدامة الصناعية.

2.1.4 سلسلة القيمة في صناعة الأسلاك الحديدية (Steel Wire Manufacturing Value Chain)

تعد سلسلة القيمة (Value Chain) أحد المفاهيم الإدارية الأساسية التي قدمها Michael Porter، والتي تهدف إلى تحليل الأنشطة التي تضيف قيمة إلى المنتج منذ استلام المواد الخام وحتى وصول المنتج النهائي إلى العميل. وفي قطاع تصنيع الأسلاك الحديدية، تمثل سلسلة القيمة الإطار الذي يوضح الترابط بين العمليات الصناعية المختلفة، وكيفية انتقال المواد والبيانات والمعلومات عبر مراحل الإنتاج المختلفة، بما يحقق أعلى مستويات الجودة والإنتاجية والكفاءة التشغيلية.

وتتميز صناعة الأسلاك الحديدية بأنها تعتمد على سلسلة إنتاج متتابعة، تبدأ باستلام المادة الخام في صورة لفائف قضبان الأسلاك (Wire Rod) المنتجة في مصانع الحديد والصلب، ثم تمر بمجموعة من العمليات الصناعية المتخصصة التي تختلف باختلاف نوع المنتج النهائي المطلوب. ويؤثر أداء كل مرحلة بصورة مباشرة في كفاءة المرحلة التالية، مما يجعل تحقيق التكامل بين هذه العمليات أحد أهم عوامل نجاح المصنع.

ويوضح الشكل (001) سلسلة القيمة المقترحة لصناعة الأسلاك الحديدية.



استلام لفائف قضبان الأسلاك

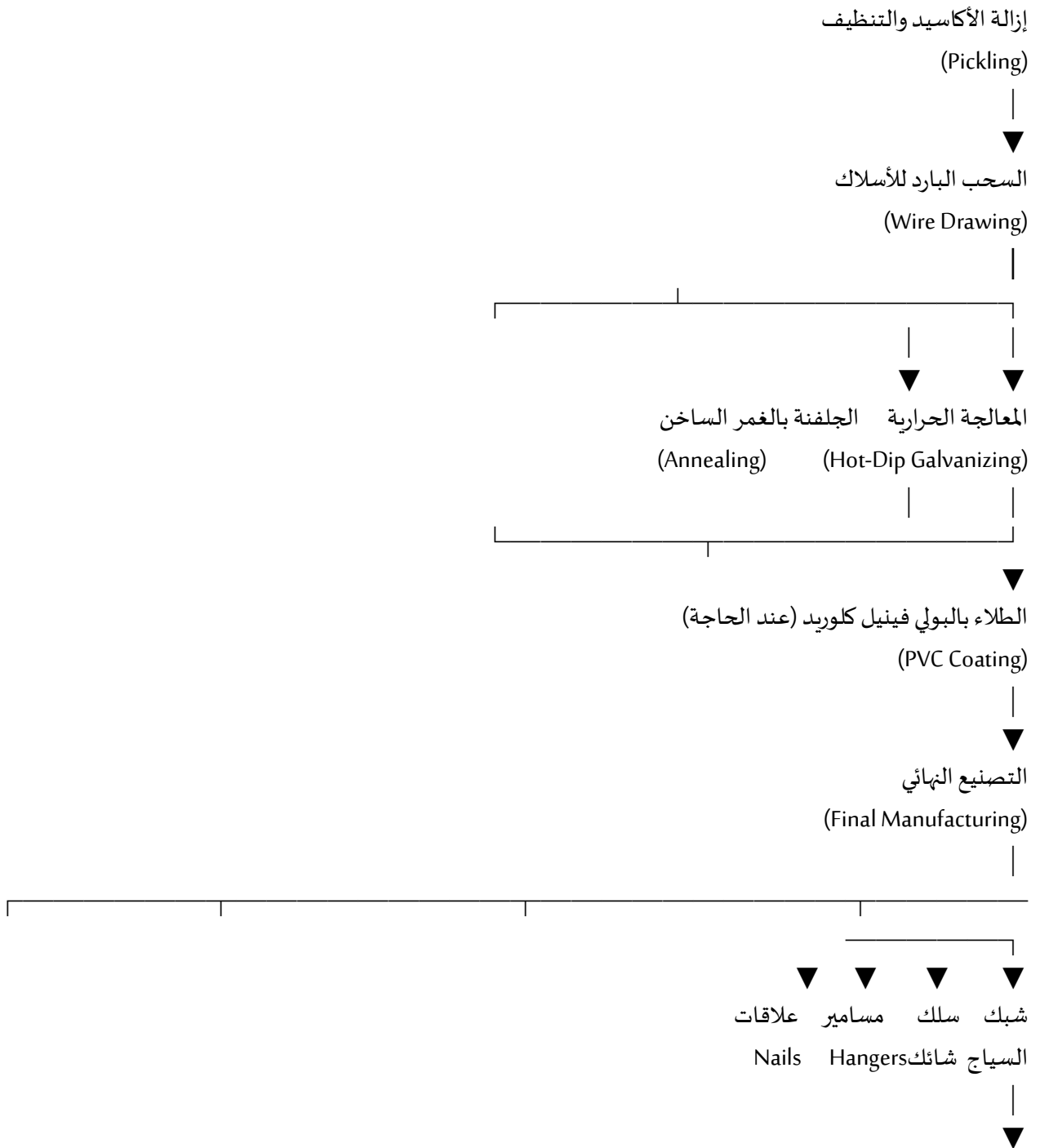
(Wire Rod Receiving)



الفحص والاستلام

(Quality Inspection)







وصف مراحل سلسلة القيمة

أولاً: استلام المواد الخام (Wire Rod Receiving)

تمثل هذه المرحلة نقطة البداية في سلسلة القيمة، حيث يتم استلام لفائف قضبان الأسلاك من موردي الصلب، مثل مصانع الحديد المحلية أو العالمية. وتشمل هذه المرحلة مراجعة شهادات الجودة، وفحص الأبعاد والأوزان، والتأكد من مطابقة الخواص الكيميائية والميكانيكية للمواصفات المطلوبة.

وتؤثر جودة المادة الخام بصورة مباشرة في كفاءة جميع العمليات اللاحقة، إذ إن وجود اختلافات في التركيب الكيميائي أو الخواص الميكانيكية قد يؤدي إلى زيادة معدلات كسر الأسلاك، وارتفاع استهلاك قوالب السحب، وانخفاض جودة المنتج النهائي.

ثانياً: السحب البارد للأسلاك (Wire Drawing)

تمثل عملية السحب البارد القلب الرئيس لصناعة الأسلاك الحديدية، حيث يتم تخفيض قطر السلك تدريجياً من خلال مروره عبر مجموعة من قوالب السحب (Drawing Dies)، حتى الوصول إلى القطر المطلوب وفقاً لمواصفات المنتج النهائي. وتعد هذه المرحلة الأكثر تأثيراً في الإنتاجية، حيث تعتمد عليها معظم المنتجات اللاحقة، كما ترتبط بها العديد من مؤشرات الأداء مثل:

- معدل الإنتاج (Throughput).
- سرعة السحب (Drawing Speed).
- نسبة الهدر (Scrap Rate).
- معدل كسر الأسلاك (Wire Breakage).
- استهلاك قوالب السحب (Die Consumption).
- كفاءة المعدات (Overall Equipment Effectiveness - OEE).

ثالثاً: المعالجة الحرارية (Annealing)

تستخدم هذه المرحلة لإعادة تحسين خواص السلك بعد عمليات السحب، وذلك من خلال تخفيف الإجهادات الداخلية وزيادة الليونة، مما يسمح باستخدام الأسلاك في التطبيقات التي تتطلب سهولة التشكيل والانحناء. وتعد جودة التحكم في درجة الحرارة وزمن المعالجة من أهم العوامل المؤثرة في جودة المنتج النهائي.

رابعاً: إزالة الأكاسيد والتنظيف (Pickling)

تهدف هذه العملية إلى إزالة طبقات الأكاسيد والشوائب المتكونة على سطح قضبان الأسلاك باستخدام الأحماض الكيميائية، ثم غسلها وتجفيفها وإضافة مواد التشحيم اللازمة قبل دخولها إلى ماكينات السحب. وتعد هذه المرحلة من العمليات الأساسية لضمان جودة السحب، إذ إن أي بقايا للأكاسيد تؤدي إلى زيادة الاحتكاك، وارتفاع استهلاك قوالب السحب، وانخفاض جودة سطح السلك.

خامساً: الجلفنة بالغمر الساخن (Hot-Dip Galvanizing)

تعد عملية الجلفنة من أهم مراحل إضافة القيمة، حيث يتم تغطية الأسلاك بطبقة من الزنك المنصهر لحمايتها من التآكل وإطالة عمرها التشغيلي.

وتؤثر عدة عوامل تشغيلية في جودة الجلفنة، من أهمها:

- درجة حرارة حوض الزنك .
- زمن الغمر .
- سرعة الخط .
- سمك طبقة الزنك .
- جودة تجهيز سطح السلك قبل الجلفنة .
- كفاءة أنظمة التنظيف والتجفيف .

سادساً: التصنيع النهائي (Final Manufacturing)

بعد الانتهاء من عمليات السحب أو الجلفنة، يتم تحويل الأسلاك إلى منتجات نهائية متعددة، مثل:

- شبك السياج (Chain Link Fence)
- السلك الشائك (Barbed Wire)
- الشبك الملحوم (Welded Wire Mesh)
- المسامير (Wire Nails)
- علاقات الملابس (Wire Hangers)
- أسلاك تدريج الكابلات (Cable Armour Wire)

ويتميز هذا الجزء بتعدد خطوط الإنتاج، وتنوع أوامر التشغيل، وارتفاع متطلبات التخطيط والتنسيق.

سابعاً: الفحص النهائي والتعبئة والشحن

تشمل المرحلة الأخيرة إجراء اختبارات الجودة النهائية، والتأكد من مطابقة المنتجات للمواصفات، ثم تنفيذ عمليات التعبئة والتغليف، وتخزين المنتجات النهائية، وإعدادها للشحن إلى العملاء.

وتعد سرعة تنفيذ هذه المرحلة ودقتها عاملاً مهماً في رفع مستوى رضا العملاء وتحقيق الالتزام بمواعيد التسليم.

العلاقة بين سلسلة القيمة والتحول الرقمي

على الرغم من أن سلسلة القيمة السابقة تبدو متتابعة، فإن الواقع التشغيلي للمصانع الحديثة يعتمد على التدفق المتزامن للمواد والمعلومات. ففي كل مرحلة يتم توليد بيانات تشغيلية تتعلق بالإنتاج والجودة والصيانة والمخزون والطاقة، ويؤدي غياب التكامل بين هذه البيانات إلى تأخر اكتشاف المشكلات، وضعف دقة التخطيط، وانخفاض كفاءة اتخاذ القرار.

ومن هنا تظهر أهمية نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES - Manufacturing Execution System)، الذي يعمل كحلقة وصل بين أنظمة تخطيط الموارد المؤسسية (ERP) وخطوط الإنتاج، حيث يقوم بجمع البيانات التشغيلية لحظياً، ومراقبة أداء المعدات، وتتبع أوامر الإنتاج، وإدارة الجودة، وربط مختلف مراحل سلسلة القيمة في منصة رقمية موحدة.

كما يساهم تطبيق Lean Manufacturing في إزالة الأنشطة التي لا تضيف قيمة داخل سلسلة القيمة، وتحسين تدفق العمليات، وتقليل أوقات الانتظار، وخفض مستويات المخزون، وتحسين استغلال الموارد، مما يؤدي إلى رفع الكفاءة التشغيلية للمصنع.

وبناءً على ذلك، فإن التكامل بين MES وLean Manufacturing يمثل أحد أهم العوامل الداعمة لتطوير سلسلة القيمة في مصانع الأسلاك الحديدية، وتحويلها إلى سلسلة قيمة رقمية تعتمد على البيانات في إدارة العمليات واتخاذ القرار، وهو ما يمثل جوهر الدراسة الحالية.

الإطار النظري للدراسة (Theoretical Framework)

مقدمة

يعتمد نجاح الدراسات العلمية على وجود إطار نظري يفسر العلاقات بين متغيرات الدراسة، ويقدم الأساس العلمي الذي تستند إليه الفرضيات وتحليل النتائج. ويؤدي الإطار النظري دورًا محوريًا في توجيه الباحث نحو تفسير الظواهر محل الدراسة بصورة علمية، وربط النتائج بالأدبيات السابقة، واختيار المتغيرات المناسبة لبناء النموذج البحثي.

ونظرًا لأن الدراسة الحالية تتناول أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي داخل مصانع الأسلاك الحديدية، فإنها تجمع بين ثلاثة مجالات علمية رئيسية، هي:

- نظم المعلومات الصناعية. (Industrial Information Systems)
- إدارة العمليات والتصنيع. (Operations Management)
- الإدارة الإستراتيجية والميزة التنافسية. (Strategic Management)

ولذلك فإن الاعتماد على نظرية واحدة لن يكون كافيًا لتفسير العلاقات بين متغيرات الدراسة، وعليه تستند الدراسة الحالية إلى ثلاثة أطر نظرية متكاملة، هي:

1. نظرية الموارد والقدرات. (Resource-Based View - RBV)
2. نظرية القدرات الديناميكية. (Dynamic Capabilities Theory)
3. نظرية الابتكار وانتشار التكنولوجيا. (Diffusion of Innovation Theory)

وتتكامل هذه النظريات في تفسير كيفية مساهمة الموارد الرقمية، والقدرات التنظيمية، والتقنيات الحديثة في تحسين الأداء التشغيلي وتحقيق الميزة التنافسية.

أولاً: نظرية الموارد والقدرات (Resource-Based View - RBV)

مفهوم النظرية

تعد نظرية الموارد والقدرات من أهم النظريات في الإدارة الإستراتيجية، وقد قدمها (Jay Barney 1991)، وتنطلق من فرضية أساسية مفادها أن تحقيق الميزة التنافسية المستدامة يعتمد على امتلاك المنظمة لموارد وقدرات يصعب تقليدها أو استبدالها من قبل المنافسين.

وتقسم النظرية موارد المنظمة إلى نوعين:

- الموارد الملموسة (Tangible Resources)، مثل المعدات، والآلات، والمباني، ورأس المال.
- الموارد غير الملموسة (Intangible Resources)، مثل المعرفة، والخبرات، وقواعد البيانات، والأنظمة الرقمية، والكفاءات التنظيمية.

وترى النظرية أن القيمة الحقيقية لا تكمن في امتلاك الموارد فقط، وإنما في قدرة المنظمة على استثمار هذه الموارد بصورة تحقق قيمة مضافة وتؤدي إلى تحسين الأداء والتميز عن المنافسين.

تطبيق النظرية على الدراسة الحالية

تنطبق هذه النظرية بصورة مباشرة على الدراسة الحالية، حيث يمثل Manufacturing Execution System (MES) أحد الموارد التنظيمية الإستراتيجية التي تمكن المصنع من تحسين إدارة العمليات التشغيلية، من خلال توفير بيانات إنتاجية لحظية، وتحسين الرقابة على العمليات، ودعم اتخاذ القرار.

كما تمثل Lean Manufacturing قدرة تنظيمية تساعد على الاستفادة المثلى من هذه البيانات، من خلال إزالة الأنشطة غير ذات القيمة، وتحسين تدفق العمليات، وتقليل الهدر.

وبالتالي فإن الدراسة الحالية تفترض أن تحقيق التحسن في الأداء التشغيلي لا ينتج عن تطبيق MES أو Lean بصورة منفردة، وإنما من خلال التكامل بين المورد الرقمي والقدرة التنظيمية.

ثانياً: نظرية القدرات الديناميكية (Dynamic Capabilities Theory)

مفهوم النظرية

طُورت هذه النظرية بواسطة (Teece, Pisano & Shuen 1997)، وتركز على قدرة المنظمة على التكيف مع بيئة الأعمال المتغيرة من خلال تطوير مواردها وإعادة تشكيلها بصورة مستمرة.

وترى النظرية أن المؤسسات الناجحة لا تعتمد فقط على الموارد الحالية، وإنما على قدرتها على:

- استشعار التغيرات. (Sensing)
 - اقتناص الفرص. (Seizing)
 - إعادة تشكيل الموارد والعمليات. (Reconfiguring)
- بما يضمن استمرار قدرتها التنافسية.

تطبيق النظرية على الدراسة الحالية
تواجه مصانع الأسلاك الحديدية تحديات متزايدة، مثل:

- تغير متطلبات العملاء .
- ارتفاع أسعار المواد الخام .
- زيادة المنافسة .
- التحول نحو المصانع الذكية .
- متطلبات الاستدامة .

وفي هذا السياق، يمثل تطبيق MES مع Lean Manufacturing أحد أشكال تطوير القدرات الديناميكية للمصنع، حيث يساعد على:

- سرعة اكتشاف الانحرافات التشغيلية .
- تحسين سرعة اتخاذ القرار .
- إعادة جدولة أوامر الإنتاج .

- تحسين استغلال الموارد .
- دعم التحسين المستمر .

وبالتالي فإن التكامل بين النظام الرقمي ومنهجية التصنيع الرشيق يعزز قدرة المصنع على التكيف مع المتغيرات التشغيلية وتحقيق مستويات أعلى من الكفاءة.

ثالثاً: نظرية الابتكار وانتشار التكنولوجيا (Diffusion of Innovation Theory)

مفهوم النظرية

قدم Everett Rogers (1962) هذه النظرية لتفسير كيفية تبني المؤسسات والأفراد للتقنيات الجديدة، والعوامل المؤثرة في سرعة انتشار الابتكار.

وترى النظرية أن نجاح تطبيق أي تقنية يعتمد على عدة عوامل، أهمها:

- الميزة النسبية. (Relative Advantage)
- سهولة الاستخدام. (Complexity)
- إمكانية التجربة. (Trialability)
- إمكانية الملاحظة. (Observability)
- توافق التقنية مع بيئة العمل. (Compatibility)

تطبيق النظرية على الدراسة الحالية

يعد تطبيق Manufacturing Execution System (MES) أحد مشروعات التحول الرقمي التي تتطلب تغييراً في أساليب العمل داخل المصنع.

وتساعد هذه النظرية في تفسير:

- أسباب نجاح أو فشل تطبيق النظام .

- مدى تقبل العاملين لاستخدام النظام .
- تأثير التدريب وإدارة التغيير .
- أهمية توافق النظام مع العمليات التشغيلية القائمة .
- العلاقة بين سهولة استخدام النظام وتحسين الأداء التشغيلي .

كما تفسر النظرية أهمية دمج MES مع Lean Manufacturing الضمان أن يسهم الابتكار التقني في تحسين العمليات التشغيلية، وليس مجرد أتمتة الإجراءات التقليدية.

جدول (002): النظريات الداعمة للإطار المفاهيمي للدراسة وعلاقتها بمتغيرات البحث

المتغير الذي تفسره	دورها في الدراسة الحالية	النظرية
المتغير المستقل (التكامل بين Lean و MES (Manufacturing	تفسر أن نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) يمثل موردًا استراتيجيًا رقميًا، بينما تمثل منهجية التصنيع الرشيق (Manufacturing Lean) قدرة تنظيمية تساعد على استثمار هذا المورد لتحقيق ميزة تنافسية وتحسين الأداء التشغيلي.	نظرية الموارد والقدرات (Resource-) (RBV - Based View
العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع	تفسر قدرة المصنع على إعادة تصميم عملياته التشغيلية، والتكيف مع المتغيرات الصناعية، والاستفادة من التكامل بين Lean و MES Manufacturing لتحسين المرونة والكفاءة التشغيلية.	نظرية القدرات الديناميكية (Dynamic) (Theory Capabilities
نجاح تطبيق النظام وتأثيره في المتغير التابع (الأداء التشغيلي)	تفسر العوامل المؤثرة في تبني نظام MES داخل المصنع، ومدى قبول العاملين للتقنيات الحديثة، وأثر ذلك في نجاح تطبيق النظام وتحقيق التحسين التشغيلي.	نظرية الابتكار وانتشار التكنولوجيا (of Innovation Theory Diffusion)

10- المنهجية وطرق البحث

10.1 منهجية الدراسة (Research Methodology)

تمهيد

تسعى هذه الدراسة إلى تحليل أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (Manufacturing Execution System - MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي داخل خطوط سحب وجلفنة الأسلاك بشركة اتحاد مصانع الأسلاك. ونظرًا لطبيعة المشكلة البحثية التي تجمع بين الجوانب الفنية والإدارية والسلوكية، فقد اعتمدت الدراسة على المنهج المختلط (Mixed Methods Research)، الذي يجمع بين الأسلوبين النوعي والكمي بهدف الوصول إلى فهم أكثر شمولًا للعلاقات بين متغيرات الدراسة.

ويُعد المنهج المختلط من أكثر المناهج ملاءمة لدراسات التحول الرقمي وإدارة العمليات، إذ يتيح تفسير الظواهر التشغيلية من خلال البيانات النوعية، ثم اختبار العلاقات بين المتغيرات باستخدام البيانات الكمية.

10.2 نوع البحث (Type of Research)

جدول (003): يمكن تصنيف الدراسة الحالية وفقًا لطبيعتها وأهدافها على النحو الآتي:

البند	التصنيف	التبرير
من حيث الهدف	بحث تطبيقي (Applied Research)	يهدف إلى معالجة مشكلة تشغيلية حقيقية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك وتقديم حلول عملية قابلة للتطبيق.
من حيث طبيعة الدراسة	بحث تفسيري (Explanatory Research)	يهدف إلى تفسير العلاقة بين التكامل بين MES و Manufacturing Lean وتحسين الأداء التشغيلي.
من حيث مرحلة الدراسة	بحث وصفي (Descriptive Research)	يصف الواقع الحالي للعمليات ومستوى تطبيق MES و Lean ومؤشرات الأداء التشغيلية داخل الشركة.
من حيث بيئة التطبيق	دراسة حالة (Case Study)	تطبق الدراسة داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك كنموذج لصناعة الأسلاك الحديدية في المملكة العربية السعودية.

10.3 منهج البحث (Research Approach)

اعتمدت الدراسة على المنهج المختلط (Mixed Methods Research) ، وذلك لتحقيق التكامل بين التحليل النوعي والتحليل الكمي، حيث يتم استخدام كل منهما في مرحلة مختلفة من مراحل البحث.

ويتكون المنهج من مرحلتين رئيسيتين:

أولاً: المرحلة النوعية (Qualitative Phase)

تهدف هذه المرحلة إلى فهم الواقع التشغيلي الحالي، وتحديد أبرز التحديات المرتبطة بتطبيق MES وLean Manufacturing، والتعرف على العوامل المؤثرة في نجاح المشروع.

وتشمل هذه المرحلة:

- إجراء مقابلات شبه منظمة مع المديرين والخبراء .
- مراجعة الإجراءات التشغيلية الحالية .
- تحليل التقارير التشغيلية .
- دراسة تدفق العمليات الإنتاجية .
- تحديد المشكلات التشغيلية الحالية .
- تحليل أسباب الهدر والانحرافات التشغيلية .

وتستخدم نتائج هذه المرحلة في تطوير نموذج الدراسة، وصياغة الاستبيان، وتحديد الفرضيات بصورة أكثر دقة.

ثانياً: المرحلة الكمية (Quantitative Phase)

تهدف هذه المرحلة إلى اختبار فرضيات الدراسة وقياس العلاقة بين متغيرات البحث باستخدام البيانات الكمية.

وتشمل هذه المرحلة:

- تصميم استبانة علمية .
- توزيعها على العاملين ورؤساء الأقسام لأدارة التصنيع في الشركة .
- جمع البيانات .
- تحليل البيانات باستخدام البرامج الإحصائية .
- اختبار الفرضيات .
- قياس قوة وتأثير العلاقات بين المتغيرات .

جدول (004):

المرحلة	الهدف	الأنشطة الرئيسية	المخرجات
المرحلة النوعية (Qualitative)	فهم الواقع التشغيلي	مقابلات مع المديرين والخبراء، مراجعة الإجراءات، تحليل العمليات، تحديد التحديات	تطوير النموذج النظري وصياغة الاستبانة
المرحلة الكمية (Quantitative)	اختبار الفرضيات	تصميم الاستبانة، جمع البيانات، التحليل الإحصائي، اختبار الفرضيات	نتائج الدراسة والعلاقات بين المتغيرات

10.4 (Research Design) خطة البحث وخطوات التنفيذ

اعتمدت الدراسة على خطة بحث متسلسلة تتكون من سبع مراحل رئيسية كما هو موضح في الشكل التالي:

مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة

|



تحديد المشكلة والفجوة البحثية



المقابلات مع الخبراء ومديري الإدارات



تطوير النموذج النظري وتصميم الاستبانة



جمع البيانات الكمية



تحليل البيانات واختبار الفرضيات



تفسير النتائج وتقديم التوصيات

10.5 مراحل تنفيذ الدراسة - جدول (005):

المرحلة	الأنشطة الرئيسية	المخرجات
المرحلة الأولى	مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة	تحديد الإطار النظري والفجوة البحثية
المرحلة الثانية	دراسة العمليات الحالية داخل الشركة	توصيف الوضع الحالي وخريطة العمليات
المرحلة الثالثة	إجراء المقابلات مع رؤساء الأقسام والخبراء	تحديد التحديات وعوامل النجاح
المرحلة الرابعة	تصميم الاستبانة والتحقق من الصدق والثبات	أداة جمع البيانات
المرحلة الخامسة	جمع البيانات الكمية	قاعدة بيانات الدراسة
المرحلة السادسة	التحليل الإحصائي واختبار الفرضيات	نتائج الدراسة
المرحلة السابعة	تفسير النتائج وإعداد التوصيات	النموذج المقترح والتوصيات النهائية

10.6 مبررات اختيار المنهج المختلط

تم اختيار المنهج المختلط للأسباب التالية:

1. يتيح فهمًا متعمقًا للعوامل التنظيمية والتشغيلية المرتبطة بتطبيق MES و Lean Manufacturing.
2. يساعد على بناء استبانة تستند إلى الواقع الفعلي للمصنع، وليس إلى افتراضات نظرية فقط.
3. يجمع بين مزايا التحليل النوعي في تفسير الظواهر، والتحليل الكمي في اختبار الفرضيات.
4. يعزز موثوقية النتائج من خلال مقارنة البيانات النوعية بالبيانات الكمية (Triangulation).
5. يتناسب مع طبيعة الدراسة بوصفها دراسة حالة تطبيقية داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

11- أدوات الدراسة (Research Instruments) / أساليب التحليل الإحصائي (Statistical Analysis Methods)

اعتمدت الدراسة الحالية على ثلاث أدوات رئيسية لجمع البيانات، وذلك بهدف تحقيق التكامل بين البيانات النوعية والكمية، والوصول إلى نتائج أكثر دقة وموثوقية. وتشمل أدوات الدراسة المقابلات شبه المنظمة، والاستبانة، وتحليل البيانات التشغيلية الفعلية للمصنع.

أولاً: دليل المقابلات شبه المنظمة (Semi-Structured Interview Guide)

هدفت المقابلات إلى التعرف على الواقع الحالي لتطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)، وتحديد أبرز التحديات التشغيلية، والعوامل المؤثرة في نجاح المشروع داخل شركة اتحاد مصانع الأسلاك.

وقد أجريت المقابلات مع مجموعة من المديرين والخبراء ذوي العلاقة المباشرة بالعمليات التشغيلية، ومنهم:

- مدير التصنيع .
- رئيس قسم الإنتاج .
- رئيس قسم الجودة .
- رئيس قسم الصيانة .

وتضمن دليل المقابلة (12) سؤالاً رئيسياً، تناولت المحاور الآتية:

جدول (006): محاور دليل المقابلات شبه المنظمة	
المحور	عدد الأسئلة
الوضع الحالي للعمليات التشغيلية	2
تطبيق نظام MES	2
تطبيق Lean Manufacturing	2
مؤشرات الأداء التشغيلي	2
التحديات التشغيلية	2
عوامل النجاح والتوصيات	2
الإجمالي	12 سؤالاً

ثانياً: الاستبانة (Questionnaire)

صممت الاستبانة لقياس آراء العاملين والإدارات ذات العلاقة حول أثر التكامل بين نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing) في تحسين الأداء التشغيلي.

واعتمدت الاستبانة على مقياس ليكرت الخماسي (Five-Point Likert Scale) ، والذي يتدرج من:

1 = أعارض بشدة

2 = أعارض

3 = محايد

4 = أوافق

5 = أوافق بشدة

جدول (007): هيكل الاستبانة		
عدد البنود	المحتوى	القسم
5	البيانات الديموغرافية (العمر، المؤهل، سنوات الخبرة، الإدارة، الوظيفة)	القسم الأول
12	تطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES)	القسم الثاني
12	تطبيق منهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing)	القسم الثالث
15	الأداء التشغيلي (Operational Performance)	القسم الرابع
44 بنوداً		الإجمالي

جدول (008): توزيع بنود الأداء التشغيلي	
عدد البنود	البعد
3	الإنتاجية (Productivity)
3	الجودة (Quality)
3	كفاءة المعدات (Overall Equipment Effectiveness - OEE)
2	تقليل الهدر (Waste Reduction)
2	تقليل التوقفات (Downtime)

2	الالتزام بخطة الإنتاج
15 بنداً	الإجمالي

ثالثاً: تحليل البيانات التشغيلية (Operational Data Analysis)

ولتعزيز موثوقية النتائج، اعتمدت الدراسة على تحليل البيانات التشغيلية الفعلية المستخرجة من أنظمة الشركة، حيث تم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسة قبل وبعد تطبيق مشروع MES، ومن أهمها:

جدول (009): مؤشرات الأداء التشغيلي المستخدمة في الدراسة	
المؤشر	وحدة القياس
إنتاجية خطوط السحب	طن/يوم
إنتاجية خطوط الجلفنة	طن/يوم
كفاءة المعدات (Overall Equipment Effectiveness - OEE)	%
نسبة الهدر (Scrap Rate)	%
التوقفات غير المخططة	ساعة/شهر
الالتزام بخطة الإنتاج	%

بناء أدوات الدراسة

تم بناء أدوات الدراسة من خلال المراحل الآتية:

1. مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة المتعلقة بـ MES و Lean Manufacturing والأداء التشغيلي .
2. مراجعة المقاييس المستخدمة في الدراسات السابقة .
3. إجراء المقابلات الاستطلاعية مع خبراء الشركة .
4. إعداد الصيغة الأولية للاستبانة .

5. عرض الاستبانة على مجموعة من المحكمين المتخصصين .

6. إجراء الدراسة الاستطلاعية .(Pilot Study)

7. تعديل الاستبانة وفق ملاحظات المحكمين ونتائج الدراسة الاستطلاعية .

8. إصدار النسخة النهائية للاستبانة.

جدول (010): اختبارات الصدق والثبات لأداة الدراسة

الاختبار	الغرض
صدق المحتوى (Content Validity)	التأكد من ملائمة البنود لأهداف الدراسة من خلال تحكيم الخبراء
الصدق الظاهري (Face Validity)	التأكد من وضوح صياغة البنود وسهولة فهمها
صدق البناء (Construct Validity)	اختبار العلاقة بين البنود والأبعاد باستخدام التحليل العاملي
معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha)	قياس الاتساق الداخلي والثبات، مع اعتماد قيمة لا تقل عن (0.70)
التحليل العاملي الاستكشافي (Exploratory Factor Analysis - EFA)	التحقق من تجميع البنود في الأبعاد النظرية
التحليل العاملي التوكيدي (Confirmatory Factor Analysis - CFA)	التأكد من صلاحية نموذج القياس (عند استخدام SmartPLS أو AMOS)

حدود الدراسة / مجتمع وعينة الدراسة (Population and Sampling)

حدود الدراسة (Delimitations of the Study)

أولاً: المجال البشري

يقصد بالمجال البشري الفئة المستهدفة بالدراسة، والتي سيتم جمع البيانات منها لتحقيق أهداف البحث.

وتتمثل حدود الدراسة البشرية فيما يلي:

جدول (011): حدود الدراسة - المجال البشري

البند	الوصف
مجتمع الدراسة	جميع العاملين والإدارات ذات العلاقة بالعمليات التشغيلية في شركة اتحاد مصانع الأسلاك بالملكة العربية السعودية.
الفئات المستهدفة	مديرو التصنيع، ومديرو الإنتاج، ومديرو الجودة، ومديرو الصيانة، والمشرفون، والمهندسون، والعاملون المرتبطون بتطبيق نظام إدارة تنفيذ التصنيع (MES) ومنهجية التصنيع الرشيق (Lean Manufacturing).
عينة الدراسة	عينة قصدية (Purposive Sampling) من العاملين والإدارات ذات العلاقة المباشرة بموضوع الدراسة.
حجم العينة	سيتم تحديد حجم العينة وفق معادلات تحديد حجم العينات الإحصائية بما يحقق مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%)، مع مراعاة حجم مجتمع الدراسة الفعلي.

جدول (012): التوزيع المقترح لعينة الدراسة حسب الإدارات

الإدارة	عدد المشاركين المقترح
التصنيع	1
الإنتاج	4
الجودة	2
الصيانة	2
الإجمالي	9

ثانياً: المجال المكاني

تقتصر الدراسة الحالية على:

جدول (013): المجال المكاني للدراسة

البند	الوصف
النطاق الجغرافي	المملكة العربية السعودية
مكان التطبيق	شركة اتحاد مصانع الأسلاك (ASLAK)
الوحدات محل الدراسة	خطوط سحب الأسلاك على البارد، وخطوط جلفنة الأسلاك بالغمر على الساخن داخل الشركة.

ثالثاً: المجال الزمني

جدول (014): المجال الزمني للدراسة

الفترة الزمنية	البند
2026-2027 الربع الأول والثاني من عام 2027 (أو حسب موعد التنفيذ الفعلي للاستبانة والمقابلات). بيانات الأداء التشغيلي خلال عامي 2025-2026، مع الاستفادة من البيانات المتاحة قبل وبعد تطبيق مشروع MES عند توفرها.	فترة تنفيذ الدراسة فترة جمع البيانات الفترة المرجعية للبيانات التشغيلية

المراجع (References)

1. Barney, J. (1991). *Firm resources and sustained competitive advantage*. Journal of Management, 17(1), 99–120.
2. Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). *The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda*. International Journal of Production Research, 56(8), 2924–2940.

- Chiarini, A., Belvedere, V., & Grando, A. (2020). *Industry 4.0 strategies and operational excellence: A systematic literature review*. *Production Planning & Control*, 31(8), 1–18. .3
- Davenport, T. H., & Harris, J. G. (2017). *Competing on Analytics: The New Science of Winning*. Harvard Business Review Press. .4
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2019). *Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A use cases analysis*. *Procedia Manufacturing*, 27, 8–15. .5
- International Society of Automation (ISA). (2021). *ANSI/ISA-95 Enterprise-Control System Integration Standard*. ISA Publications. .6
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2019). *Recommendations for Implementing Industry 4.0*. German National Academy of Science and Engineering. .7
- Liker, J. K. (2021). *The Toyota Way (2nd Edition)*. McGraw-Hill. .8
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press. .9
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations (5th ed.)*. Free Press. .10
- Sony, M. (2020). *Pros and cons of implementing Industry 4.0 for the organizations: A review and synthesis of evidence*. *Production & Manufacturing Research*, 8(1), 244–272. .11
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). *Dynamic capabilities and strategic management*. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. .12
- Tortorella, G. L., Pradhan, N., Macias de Anda, E., Trevino Martinez, S., Sawhney, R., & Kumar, M. (2021). *Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era*. *Business Process Management Journal*, 27(2), 433–450. .13
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking*. Free Press. .14

- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods (6th ed.)*. Sage Publications. .15
- Zuehlke, D. (2019). *SmartFactory—Towards a factory-of-things*. Annual Reviews in Control, 34(1), 129–138. .16
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 22400-2: Automation systems and integration—Key Performance Indicators (KPIs) for manufacturing operations management*. ISO. .17
- McKinsey & Company. (2023). *The Future of Digital Manufacturing: Unlocking Productivity Through Smart Factory Technologies*. .18
- Deloitte. (2024). *Smart Manufacturing and Digital Transformation Survey 2024*. .19
- World Economic Forum. (2023). *Global Lighthouse Network: Unlocking Sustainability Through Digital Manufacturing*. .20
21. وزارة الصناعة والثروة المعدنية. (2024). *التقرير السنوي لوزارة الصناعة والثروة المعدنية 2024*. الرياض: وزارة الصناعة والثروة المعدنية.
22. وزارة الصناعة والثروة المعدنية. (2024). *برنامج مصانع المستقبل*. الرياض: وزارة الصناعة والثروة المعدنية.
23. وزارة الصناعة والثروة المعدنية. (د.ت). *مبادرة برنامج مصانع المستقبل*. الرياض: وزارة الصناعة والثروة المعدنية.
24. برنامج تطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية. (2024). *التقرير السنوي 2024*. الرياض: برنامج تطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية.
25. الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية. (2024). *التقرير السنوي 2024*. الرياض: الهيئة السعودية للمدن الصناعية ومناطق التقنية.
26. صندوق التنمية الصناعية السعودي. (2024). *التقرير السنوي 2024*. الرياض: صندوق التنمية الصناعية السعودي.

وتنسجم الدراسة الحالية مع توجهات وزارة الصناعة والثروة المعدنية في المملكة العربية السعودية نحو رفع كفاءة المصانع وتحفيز التحول الرقمي، خصوصًا من خلال برنامج مصانع المستقبل الذي يهدف إلى تمكين المصانع من تبني التقنيات الحديثة وتطوير العمليات التشغيلية.