SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF PURE & APPLIED SCIENCES VOL.23 NO. 2 2024
DOI: 10.51984/JOPAS.V23I2.3065

مجلة جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية
Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences
Journal homepage: www.sebhau.edu.ly/journal/jopas

تحسين أداء العملية الإنتاجية باستخدام منهجية الستة سيجما حالة دراسية بالشركة الليبية للحديد والصلب

*أميرة درميش[1]، عمر شنب[1]، فتحي الأمين[2]، ورمضان أبوقديدة[2]

[1]كلية التقنية الصناعية، مصراتة ، ليبيا.
[2] كلية الهندسة جامعة مصراتة، مصراتة ، ليبيا.

الملخص

لم يعد الالتزام بمواصفات المنتجات الصناعية كافيا في الوقت الحالي مع التنافس الكبير في الأسواق، ولقد أصبح من الضروري لتحقيق متطلبات العميل استخدام أساليب تحسين الجودة الأكثر تطوراً. تكمن مشكلة الدراسة في سعى الشركة الليبية للحديد والصلب للتحسين المستمر لمنتجاتها من ناحية الجودة ووقت التصنيع والانتظار، وكذلك خفض التكاليف وزيادة الإنتاجية لكسب ثقة المستهلك، ولتحقيق هذه المتطلبات، يجب عليها استخدام التقنيات الحديثة لقياس الجودة. وعليه فإن هذا البحث يهدف إلى دراسة إمكانية تطبيق منهجية الستة سيجما في الشركة الليبية للحديد والصلب، والتعرف على الفوائد الناتجة عن تطبيقها، والمعوقات التي ترافق عملية التطبيق. تمت دراسة الحالة بمصنع درفلة القضبان لمعرفة سير العملية الإنتاجية وكمية الإنتاج والكشف عن القطع المعيبة، ومعرفة أسباب حدوث المعيب، والخفض من هذه الأسباب وتحسين جودة المنتجات. وقد تم ذلك عن طريق تشكيل فريق لتحديد أهم الخواص الميكانيكية التي تم قياسها (إجهاد الخضوع، قوة الشد والاستطالة)، وتحديد عدد العينات، وحجمها، وقد تم جمع بيانات العينات من المعمل الخاص بمصنع الدرفلة وتحليلها بالبرنامج الإحصائي *Minitab* ورسم لوحات المتوسط والمدى وتحليل مقدرة العملية الإنتاجية، وحساب مستوى الستة سيجما عن طريق معادلة *DPMO*. ومن خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى أن أغلب القطع المعيبة كان سببها انخفاض في إجهاد الخضوع بسبب انخفاض نسبة الكربون. وكذلك فإنه من الضروري تحسين عملية التبريد المائي والكشف الدوري عليها. وتوصلت الدراسة لضرورة تنفيذ برامج تدريبية لتأهيل العاملين وتدريبهم على تقنيات وأدوات الستة سيجما، وكذلك توفير جميع متطلبات التطبيق والنجاح لمنهجية الستة سيجما.

الكلمات المفتاحية:

إدارة الجودة
العملية الإنتاجية
تحسين الأداء
ستة سيجما
مقدرة العملية

Improving The Performance of The Production Process Using Six Sigma Methodology. A Case Study at The Libyan Iron and Steel Company

Amera Dermish[a], Omar Shaneb[a], Fathi Elamin[b], Ramadan Abugeddida[b]*

[a]The College of Industrial Technology, Misurata, Libya
[d]Engineering Faculty, Misurata University, Misurata, Libya

Keywords:

Quality Management
Production Process
Performance Improvement
Six Sigma
Process Capability

A B S T R A C T

Adhering to the specifications of industrial products is no longer sufficient at the present time with the great competition in the markets, and it has become necessary to achieve customer requirements using more advanced quality improvement methods. This research aims to study the possibility of applying Six Sigma methodology in the Libyan Iron and Steel Company, the benefits resulting from its implementation, and the obstacles that accompany the implementation process. The case was studied at the bar rolling mill plant to know the production process, production quantity, detection of defective parts, finding out the causes of defective occurrence. This was done by forming a team to

*Corresponding author.
E-mail addresses: ameradermish1993@yahoo.com, (O. Shaneb) omar_shanab@cit.edu.ly, (F. Elamin) f.elamin@eng.misuratau.edu.ly, (R. Abugeddida) ramadan.abugeddida@eng.misuratau.edu.ly.

Article History : Received 01 March 2024 - Received in revised form 26 September 2024 - Accepted 10 October 2024

determine the most important mechanical properties that will be measured (yield stress, tensile strength, elongation), and determining the number and size of samples. Sample data were collected from the rolling mill's laboratory and analyzed by the statistical Minitab software, plotting X-bar and R (range) chart, analyzing the capability of the production process, and calculating the level of Six Sigma using DPMO. It was concluded in this study that most of the defective specimens were caused by low yield stress due to low carbon percentage. As well as, it is necessary to improve the water cooling process and periodic inspection on it. In addition, the study found that it is important to conduct training programs in order to qualify employees and train them on Six Sigma techniques and tools, as well as providing all requirements for the successful implementation of Six Sigma methodology.

1. المقدمة

لم يعد مجرد الالتزام بمواصفات المنتجات الصناعية كافيا في الوقت الحاضر الذي يشهد فيه العالم تنافسا حادا بين السلع والمنتجات في الأسواق المحلية والعالمية، ولقد أصبح من الضروري للمنشآت والشركات الصناعية الإيفاء بحاجات المستهلك الضمنية والظاهرة ومعرفة توقعاتهم وتحقيقها في المنتجات أو السلع، ولا يمكن تحقيق ذلك من دون تبني أساليب تحسين الجودة الأكثر تطورا، والتي أثبتت نجاحها في العديد من القطاعات الصناعية. لقد أدى هذا إلى وضع جودة المنتجات على رأس الأهداف التي تسعى المنشآت الإنتاجية لتحقيقها من خلال استخدام التقنيات الحديثة. وفي هذا البحث تم استخدام منهجية الستة سيجما وهي تقنية شديدة الانضباط تساعد المنظمات على التركيز على التطوير، وتقديم منتجات وخدمات قريبة من الكمال، وتعتبر تقنية سريعة التغيير نحو الأفضل، وتساعد على الاستغلال الأمثل للموارد البشرية والمادية داخل الشركة واكتشاف المعيب والعراقيل التي تؤثر على منتجات الحالة الدراسية وجودتها، وللحصول على نتائج مرضية للشركة والزبائن لكي تزيد الشركة من قدرتها التنافسية في الأسواق المحلية والعالمية .

تعتبر الشركة الليبية للحديد والصلب من أكبر الشركات الصناعية بليبيا، وتقع هذه الشركة على مساحة قدرها 1,200 هكتارا بالقرب من مركز مدينة مصراتة، وتبلغ الطاقة التصميمية للشركة 1,324,000 طن من الصلب السائل سنوياً بطريقة الاختزال المباشر لمكورات الحديد باستخدام الغاز الطبيعي المحلي [1]. تسعى الشركة الليبية للحديد والصلب للتحسين المستمر لمنتجاتها من ناحية الجودة ووقت التصنيع والانتظار، وكذلك خفض التكاليف وزيادة الإنتاجية لكسب ثقة المستهلك وللحصول على هذه المواصفات يجب علها استخدام التقنيات الحديثة لقياس الجودة، وفي هذه الدراسة تم استخدم منهجية الستة سيجما؛ وذلك لتحسين أداء العمليات الإنتاجية وزيادة جودة المنتجات وخفض الوحدات المعيبة. وتتلخص أهداف البحث في التعرف على إمكانية تطبيق منهجية الستة سيجما كمدخل فعال لتحسين الجودة في الشركة الليبية للحديد والصلب، كما يهدف البحث إلى معرفة المتطلبات اللازمة لتطبيق منهجية الستة سيجما بشكل فعال ومعرفة الفوائد المحتملة لتطبيق منهجية الستة سيجما في الشركة الليبية للحديد والصلب، والتعرف على أهم الصعوبات التي يمكن أن تواجه الشركة الليبية للحديد والصلب أثناء تطبيق منهجية الستة سيجما، وذلك بتطبيق منهجية الستة سيجما على أحد منتجات الشركة الليبية للحديد والصلب (القضبان والأسياخ كعينة) باستخدام طريقة DMAIC للتحسين؛ حيث DMAIC هي اختصار (Definition phase, Measurement Phase, Analysis Phase, Improvement Phase, Control Phase).

2. الدراسات السابقة

تناولت العديد من الدراسات أهمية استخدام منهجية الستة سيجما في المصانع والمراكز الخدمية ومراكز البحث والتطوير؛ وذلك لغرض تحسين جودة المنتجات وتحسين أداء العمليات الإنتاجية وتحقيق الفوائد المتوقعة من استخدامها لصالح الزبون والمنشأة.

تناول السيد عباس (2005) تحسين العمليات في شركة خاصة لإنتاج الحبوب باستخدام منهجية الستة سيجما، وقد هدفت هذه الدراسة لتقليل الانحرافات التي تؤثر على رغبات الزبون والحرص على الوصول إلى الانحراف الصفري، ونتج عن هذا البحث أن فحص الرطوبة والتشتت كان غير منضبط إحصائياً، وكان التشتت كبيرا. وكذلك أظهرت النتائج عدم وجود نظام معتمد لضبط الجودة ونقص البرامج التدريبية التي تعنى بالجودة [2].

فيما قام رفاعي (2006) بتقييم المنهج المتكامل لاستبعاد الفاقد باستخدام منهجية الستة سيجما في البنوك المصرية؛ وقد استنتجت الدراسة أن هناك تأثيراً محدوداً لمتغيرات أدوات الستة سيجما على أبعاد جودة الخدمة المصرفية، أما متغيرات استبعاد الفاقد فكان تأثير صوت الأعمال (خبير استبعاد الفاقد، رئيس خبراء استبعاد الفاقد هو المسؤول عن فريق تحسين تدفق العملية) كبير على أبعاد جودة الخدمة المصرفية[3].

أما دراسة Valles وآخرون (2009)، فقد تم إجراؤها في شركة لصناعة الدوائر الكهربائية لاختبارها وقياس خصائصها الكهربائية ليتم قبولها أو رفضها، وقد حرصت الشركة على تطبيق منهجية الستة سيجما لاكتشاف أسباب العيوب وتقليلها لاكتساب رضا العملاء. وتوصلت هذه الدراسة إلى أنه من الممكن التقليل من الوحدات غير المطابقة، وكذلك تحسين جودة المنظمة عند تطبيق منهجية الستة سيجما بشكل صحيح [4].

دراسة الراوي (2011) لاستخدام منهجية الستة سيجما في ضبط جودة التدقيق الداخلي في المستشفيات، تم في هذا البحث استخدام تحليل الانحدار البسيط والمتعدد ومعامل سيبرمان للارتباط. ونتج عن هذه الدراسة أن المستشفيات تلتزم بتطبيق معايير التدقيق الداخلي. وكذلك فقد بينت نتائج التحليل أن المستشفيات محل الدراسة تعمل ضمن المستوى الثالث لمنهجية الستة سيجما، وهو المستوى الذي تتراوح فيه العيوب لكل مليون فرصة بين 8200 إلى 66800. [5].

أما الشريفي (2012) فتناول أثر تطبيق منهجية الستة سيجما في تحقيق القيمة المتميزة للزبون في المنظمات الإنتاجية، وقد تم تحديد المجتمع لإجراء الدراسة عليه، ووضع فرضيات والتحقق من صدق هذه الفرضيات عن طريق الاستبانة، ونتج عنها أن الإدارة تسعى لتحقيق الجودة ولإرضاء الزبون، ولكن ليس لديها إطلاع واسع على منهجية الستة سيجما [6].

تكمن مشكلة دراسة عبدالله (2012) في جودة الأداء العالية التي تتطلها المصارف التجارية، وأن ذلك يتطلب التدقيق الداخلي على أنشطتها المالية وغير المالية؛ وبالتالي الاستعانة بأنظمة الجودة لتحقيق الدقة. وقد هدفت

الدراسة للتحقق من مدى التزام المصارف العاملة في قطاع غزة بمنهجية الستة سيجما في ضبط جودة التدقيق الداخلي، وكذلك تحديد العلاقات ذات الدلالة الإحصائية بين متغيرات الدراسة. ونتج عن هذه الدراسة مدى التزام المصارف العاملة في قطاع غزة بمنهجية الستة سيجما وبمعايير التدقيق الداخلي. [7].

هدفت الدراسة التي قدمها Ganguly (2012) إلى معالجة المشكلات التي تواجه شركة لصناعة الألومنيوم، والتي تحدث في خط الدرفلة على الساخن، وتطوير قدرات الدرفلة على الساخن لدرفلة السبائك الصلبة، وكذلك القضاء على الوقت الضائع بسبب انزلاق شريط الملف أثناء درفلة السبائك الصلبة، ونتج عن هذه الدراسة أن تطبيق المنهجية في الشركة كان ناجحاً، فقد تم القضاء على مشكلة الانزلاق وتطوير مقدرة عملية الدرفلة [8].

أما دراسة الزاهر (2014) لتقييم مدى توافر متطلبات منهجية الستة سيجما داخل المنظمات الصناعية، وقد أشارت نتائج البحث إلى انخفاض درجة إدراك العاملين لأهمية تطبيق منهجية الستة سيجما، وعدم ملائمة الثقافة التنظيمية السائدة حالياً في الشركات محل البحث للثقافة التنظيمية المطلوبة لتطبيق منهجية الستة سيجما، وإلى عدم توافر المهارات الكافية لتطبيق منهجية الستة سيجما [9].

وقام العسس (2014) بدراسة تطبيق منهجية الستة سيجما لتحسين جودة المنتجات الدوائية ومتطلبات تطبيق المنهجية الناجح والفوائد والصعوبات التي تواجه تطبيق هذه المنهجية. وهدفت الدراسة إلى التعرف على منهجية الستة سيجما، والتعرف على خصوصية الصناعة الدوائية، وكذلك التعرف على المتطلبات اللازمة لتطبيق هذه المنهجية. ونتج عن هذه الدراسة وجود فروق جوهرية بين توافر متطلبات تطبيق منهجية الستة سيجما داخل الشركة وبين المتطلبات الواجب توافرها للتطبيق الفعال لمنهجية الستة سيجما داخل الشركة، وأن بتحسينها تتحسن جودة المنتج ومقدرة العملية والإنتاجية. [10].

تناولت دراسة (Jirasukprasert) وآخرون (2014) إمكانية تطبيق منهجية الستة سيجما داخل مصنع لصناعة القفازات، وذلك لاكتشاف العيوب ومعرفة سببها، والتي كانت بسبب درجة الحرارة وسرعة الناقل، وقد تم تقليلها عن طريق تحديد درجة الحرارة المناسبة وتحديد سرعة الناقل المثلى. ونتج عن هذه الدراسة أن درجة الحرارة المثلى تساوي 230 درجة مئوية وسرعة الناقل تساوي 650 دورة في الدقيقة، وكذلك قد تم تقليل العيوب في عملية تصنيع القفازات المطاطية. [11].

تناول Sujova (2016) وآخرون دراسة بحثية لحالتين صناعيتين بمستوى مختلف في جمهورية سلوفاكيا، وهدفت الدراسة إلى تحسين أداء العمليات لتحقيق الجودة المطلوبة والقدرة المطلوبة للعمليات. وقد تم إجراء استبانة للتحقق من اعتماد المؤسسات الصناعية السلوفاكية تطبيق منهجية الستة سيجما على نظام إدارة الجودة. ونتج عن هذه الدراسة إمكانية تطبيق منهجية الستة سيجما في المؤسسات في ظل ظروف محددة، وكذلك وجود تغير ملحوظ في المؤسسات التي أدخلت المنهجية على نظام إدارة الجودة [12] .

أما البربري (2017) فتناول تقييم جميع المراحل التي تؤدي لظهور عيوب وتعطل في الإنتاج وتقلل من كفاءة الإنتاج وجودة المنتجات من خلال تطبيق منهجية الستة سيجما، ومدى تأثير استخدام هذه المنهجية للحصول على التصنيع الأخضر داخل خط الإنتاج، ومدى إمكانية تحقيق التصنيع الأخضر لتقليل العيوب داخل صالات الحياكة للمصانع المتوسطة. وتوصل هذا البحث إلى أنه من الصعب الوصول إلى التصنيع الأخضر 100% بسبب نقص الإمكانيات من الآلات والبرامج الحديثة، ولكن من الممكن التغلب على بعض المشاكل؛ وذلك بالتدريب الجيد للعامل البشري. [13].

دراسة Silva (2017) وآخرون اعتمدت على عدة دراسات سابقة بخصوص التصنيع الخالي من الهدر والستة سيجما والدمج بينهما في إطار lean six sigma ، وذلك لتحسين القدرة التنافسية وللحد من وجود الموظفين في الأماكن غير المناسبة في الشركة. [14].

هدفت دراسة (2017) (Venkatesh and Sumangala)على شركات للصناعة التحويلية في الهند إلى تحديد مدى فهم الموظفين لتأثير تطبيق منهجية الستة سيجما على نجاح المتغيرات مثل نمو الشركة، والفوائد المالية والإنتاجية، وحقوق المساهمين، ورضا العملاء وفحص العلاقات المتبادلة بين فوائد الستة سيجما. ونتج عن هذه الدراسة معرفة مدى التزام وفهم الموظفين بإيجابية تطبيق الستة سيجما وما لها من فوائد تعود على المؤسسات، والعاملين والزبائن. [15].

هدفت دراسة الناظر (2017) إلى التعرف على مدى إمكانية تطبيق منهجية ستة سيجما في شركات تصنيع المواد الغذائية الكبرى في الضفة الغربية؛ هدفت الدراسة إلى التعرف على معوقات تطبيق منهجية الستة سيجما. وكان مجتمع الدراسة جميع شركات تصنيع المواد الغذائية الكبرى في الضفة الغربية؛ حيث بلغ عددها تسع شركات. ولتحقيق أهداف الدراسة تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي، من خلال الاعتماد على التحليل الكمي والنوعي، وقد توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها: أن درجة إمكانية تطبيق منهجية الستة سيجما في شركات تصنيع المواد الغذائية الكبرى في الضفة الغربية مرتفعة جدا، وتبين بأن درجة المعوقات المتوقعة لتطبيق منهجية الستة سيجما منخفضة، وأن أهم المعوقات المتوقعة لتطبيق منهجية ستة سيجما تتمثل في مقاومة العاملين لعمليات التغيير في هذه الشركات. [16].

تناولت دراسة Zasadzień (2017) مدى فعالية تطبيق منهجية الستة سيجما في تحسين عمليات الإنتاج المرتبطة بالصيانة، واستخدام أدوات الجودة في تحديد أسباب المشكلة، وتحديد أنواع الأعطال المسئولة عن توقف معظم الآلات، كما تم وضع خطة للقضاء على الفشل من خلال التعرف على العمليات الإنتاجية ومعرفة أسباب الأعطال وتطوير إجراءات التحسين التي تهدف إلى تقليل وقت إزالة الخطأ [17].

أما دراسة (2018) (Sangode and Hedaoo) فقد تناولت أسباب عدم تنفيذ الشركات الصناعية في منطقة الناجبور بالهند لتطبيق منهجية الستة سيجما لتحسين جودة المنتجات ورضا العميل، وكذلك أسباب عدم نجاح منهجية الستة سيجما داخل الشركات التي تم تطبيق منهجية الستة سيجما بداخلها. واستنتجت أن الاختيار السيء للمشروع الذي يتطلب التحسين هو السبب الأرجح.[18].

دراسة سلطان (2019) لمعرفة دور منهجية الستة سيجما الرشيقة في تحسين العمليات الصناعية في مصنع للإطارات، وخلصت الدراسة إلى أن المصنع ترتفع فيه نسبة التالف، وأن استخدام أدوات الستة سيجما الرشيقة ستساهم في الحد من التالف داخل المصنع [19].

تكمن مشكلة دراسة خليل (2020) في العيوب الناتجة في منتج البطاطا المفرزة داخل شركة الكرامة للصناعات الغذائية، وكيفية خفض العيوب باستخدام منهجية الستة سيجما. وهدفت الدراسة إلى إظهار دور منهجية الستة سيجما

في خفض العيوب. وتم تطبيق منهجية الستة سيجما على العملية الإنتاجية داخل الشركة، وذلك باستخراج الخصائص الحرجة للجودة بالاعتماد على آراء الزبائن، واستخدامها كمعيار لقياس الانحراف. ونتج عن هذه الدراسة انخفاض في نسبة الإنتاج المعيب بنسبة 54% بعد إدخال التحسينات [20].

هدفت دراسة شنيتي (2020) وآخرون لمعرفة أثر تطبيق منهجية الستة سيجما على رأس المال البشري في مؤسسة أركوديم، باعتبارها مطلب أساسي للمنظمات المعاصرة من أجل تحقيق الريادة والتميز. وتوصلت الدراسة إلى أن المؤسسة محل الدراسة تطبق منهجية الستة سيجما بنسبة مرتفعة [21].

وكان الهدف من دراسة Kartika (2020) وآخرون هو اكتشاف مزايا تطبيق منهجية الستة سيجما في صناعة الأدوية، وتأثير تطبيق المنهجية على أداء عملية الصناعة الصيدلانية في إندونيسيا؛ حيث تم استخدم منهج الأساليب الكمية مع تقنيات التحليل الارتباطي لعينات عشوائية بسيطة. ونتج عن هذه الدراسة أن منهجية ستة سيجما لها تأثير إيجابي وهام على أداء صناعة الأدوية [22].

هدفت دراسة ضو (2021) وآخرون إلى تحديد مدى توافر متطلبات تطبيق منهجية الستة سيجما ودورها في ترشيد تكاليف الإنتاج في مصنع الأعلاف بمنطقة القره بوللي بليبيا، وذلك بتحديد مدى إدراك العاملين بأهمية الستة سيجما، ومدى ملائمة الثقافة التنظيمية السائدة في المصنع. وتمت الدراسة باستخدام الإحصاء الوصفي. ونتج عن الدراسة عدم توفر الظروف والمهارات الكافية لتطبيق منهجية الستة سيجما. [23].

تناولت دراسة شنب وآخرون (2022) إمكانية تطبيق منهجية ستة سيجما في المجمع الاستثماري لمواد البناء بمصراته كمدخل فعال لتحسين جودة المنتجات، وتحديد متطلبات التطبيق الناجح لهذه المنهجية ومعوقات تطبيقها. وتمت دراسة أهم الخصائص لأحد المنتجات في المجمع، وكانت خاصية الصلادة والأبعاد للبلاط، وقد توصل البحث لعدة استنتاجات، أهمها: أن مستوى السيجما بالمجمع الاستثماري قيمته 2 سيجما فقط، وهي قيمة متدنية جدا؛ وعدم تقبل وجاهزية الإدارة العامة للمجمع لتطبيق منهجية الستة سيجما [24].

من خلال استعراض الدراسات السابقة لوحظ أن عددا كبيرا من الأوراق البحثية ورسائل الماجستير قد تناولت مشكلة تحسين الجودة في المؤسسات الصناعية والخدمية، ومحاولة حلها سواءً بالطرق التقليدية أم باستخدام التقنيات الحديثة، وتهدف الدراسة الحالية إلى تطبيق منهجية الستة سيجما في الشركة الليبية للحديد والصلب لتحسين جودة المنتجات وتقليل العيوب والتكاليف. وبسبب ندرة البحوث في البيئة الليبية في مجال استخدام منهجية الستة سيجما لتحسين الجودة قمنا بهذه الدراسة.

3. مفهوم منهجية الستة سيجما وعلاقتها بالجودة الشاملة

تعددت أراء الباحثين الذين تناولوا مفهوم الستة سيجما في محاولة لتقديم تعريف جامع لها، فمن وجهة نظر كل من (pyzdek, keller,2010)، فإن منهجية الستة سيجما هي تطبيق صارم ومركز وعالي الفعالية لمبادئ وتقنيات الجودة المثبتة؛ حيث تجمع ضمنها عناصر من أعمال رواد إدارة الجودة، ومنهجياتها المختلفة، وتهدف للوصول إلى مستوى من الأداء لا يتضمن أي عيوب تقريبا. ومن ناحية المصطلح "سيجما"، ويرمز له بالحرف اللاتيني σ حيث يستخدمه الإحصائيون لقياس التغيرات في مخرجات العملية، ويقاس أداء الشركة بمستوى السيجما لعملياتها [10]. وعرفها (عباس ،2019) على أنها طريقة نظامية تستند بالدرجة الأساس على البيانات، إذ أن أهم ما يميز الستة سيجما هي اعتمادها أسلوب الإدارة بواسطة الحقائق عبر تسجيل أداء العملية في بداية المشروع كأساس للمقارنة المرجعية مع تحديد نقاط إضافية عن أداء العملية كلما تقدم المشروع، مما يساهم في كيفية اختيار إجراءات التحسين المناسبة [19]. وفي تعريف (Brue Greg ,2005) أشار أن الستة سيجما تعتبر منهجية هدفها تحسين العمليات في المنظمات الصناعية والخدمية من خلال تقليل معدلات الأخطاء في تلك العمليات مما يؤدي إلى رفع مستوى رضا العملاء وتقليل التكلفة في هذه المنظمات. ويستخدم السيجما لقياس التشتت في علم الإحصاء؛ حيث إنه يعبر عن متوسط الجذر التربيعي لمجموعة مربعات الانحرافات للقيم عن وسطها الحسابي، والخلاصة هنا أن لا يتعدى الخطأ المرتكب في العمليات3.4 عيب في كل مليون فرصة، وهي عبارة عن نسبة لا تذكر عند النظر إلها؛ حيث إن تحقيق الهدف من العملية يكون بنسبة 99.999966%][10]. وفي تعريف (Stephens, 2003) يقول: إنها فلسفة ونهج يستخدم لإزالة وتقليل العيوب في العمليات والمخرجات بالمؤسسة [25].وعرفها (Does, 2002) بأنها منهجية للتحسين المستمر تم تطبيقها في عدة قطاعات صناعية وخدمية، وخلاصة القول إنها فلسفة للتميز والتركيز على المستفيدين وتحسين العمليات [25]. وعرفها (Pande, Holpp, 2005) أنها أذكى الطرق لإدارة الأعمال، كما أنه يتم وضع العملاء الزبائن في الترتيب الأول، ويستخدم الحقائق والبيانات للوصول إلى حلول أفضل [7] . ويرى (Hahn et al., 1999) أن الستة سيجما منهجية شديدة الانضباط، ويعتمد فها على الإحصاء لإزالة العيوب من المنتجات والعمليات، وهى عمل يشارك فيه جميع الأفراد في المؤسسة [10].وعرفها (Muir, 2006) بأنها منهجية تستخدم لعلاج المشكلات المزمنة للشركة حتى تستطيع مقابلة توقعات العميل بالدرجة الفعالة، حيث يستهل بها من بداية العملية مرورا بالمراحل الصناعية وحتى نهايته [19]. وبين (Ferrin et al, 2003) أن المفاهيم الأساسية لستة سيجما قد تكون [3]:

- قدرة العملية
- التحسينات التي حدثت على المنتج أو الخدمة
- ثبات عمليات الإنتاج والتنبؤ بالعمليات الواجب تحسينها

ويوضح (Survival, 2005) أن ستة سيجما تعرف في العديد من المنظمات بأنها مقياس للجودة التي تسعى المؤسسات إلى الوصول إلها لكي تصل إلى حد الكمال، وأنها منهج منظم للحصول على البيانات واشتقاق تلك البيانات يهدف إلى تجنب العيوب في عمليات التصنيع [3].

ومما سبق يتضح لنا أن الستة سيجما هي منهجية تسعى للتحسين المستمر داخل المنظمات، للوصول إلى الكمالية في الإنتاج والخدمات وتقديمها بالجودة المطلوبة التي ترضي الزبون وبأقل تكلفة ممكنة.

قامت الستة سيجما بتوسيع مفهوم الجودة ليشمل أهمية القيمة الاقتصادية لكل من الشركة والعميل، ويعني تحقيق الربحية والجودة للشركة في آن واحد. أما بالنسبة للعميل فهو الحصول على أفضل جودة للمنتج بأقل تكلفة ممكنة. وركزت الستة سيجما أيضا على جودة سير العمليات الإنتاجية بحيث تصل الجودة إلى قمتها عند تحقيق أقل تكلفة للمنتج، وعليه فإن الستة سيجما تضيف أفضل جودة للشركات وبأعلى ربح وأفضل جودة للعميل وبأقل تكلفة، ويتم ذلك من خلال تطبيق استراتيجية الستة سيجما التي تمكن الشركات من المنافسة من خلال تقليل من عيوب في المنتجات [26] .

تتعدد مسميات الجودة مثل إدارة الجودة الشاملة، إدارة الأداء، الأيزو والستة سيجما ولكن بماذا تختلف الستة سيجما عن كل هذه المسميات؟

- ركزت برامج الجودة على تلبية احتياجات العميل وبأية تكلفة كانت، واستطاعت تلك الشركات إنتاج منتجات ذات جودة عالية على الرغم من انخفاض كفاءة العمليات الداخلة فيها.
- إن ظهور الستة سيجما ما هو الا امتداد طبيعي لجهود الجودة، لذلك تعد الستة سيجما مبادرة لتطوير الجودة، حيث تعمل على الربط بين أعلى جودة وأقل تكاليف للإنتاج.
- إن الستة سيجما عبارة عن هدف للأداء يتم تطبيقه على كل عنصر من عناصر الجودة، وليس على المنتج كاملاً، بمعنى أن الجودة تركز على جودة المنتج النهائي بتكلفة عالية، بينما الستة سيجما تركز على العمليات لتحقيق جودة المنتج بأقل تكلفة ممكنة.
- لا يمكن أن تعمل الستة سيجما بمعزل عن الجودة حيث توفر إدارة الجودة لمنهجية الستة سيجما الأدوات والتقنيات اللازمة لإحداث التغيرات وتطور العمليات داخل الإدارة، وتعد الخطوة الأولى في حساب الستة سيجما تحديد توقعات ومتطلبات العميل.
- الستة سيجما ليست موضوعا يدور حول الجودة من أجل الجودة ذاتها، وإنما تدور حول تقديم قيمة أفضل للعملاء والموظفين والمستثمرين [26] .

4. الحالة الدراسية

من خلال تقارير الجودة السنوية لمصنع الدرفلة الطولية لوحظ وجود حيود عن المواصفات لمنتج القضبان، وكان ذلك بسب وجود مسامات وفقاعات هوائية بين جزيئات الحديد مما تسبب في انحرافات في المظهر الخارجي والخواص الميكانيكية للقضبان، وكان دورنا متابعة الانحرافات عن المواصفات التصميمية والبحث عن أسباب حدوثها. اقترحنا إجراء دراسة عن الحيود في مصنع الدرفلة الطولية باستخدام منهجية الستة سيجما للوصول إلى أسباب الحيود ومحاولة إيجاد الحلول للحد من هذه الظاهرة.

1.4 نبذة عن مصنع درفلة القضبان

تعتبر الشركة الليبية للحديد والصلب من أكبر الشركات الصناعية في ليبيا، حيث أقيمت على مساحة قدرها (1200) هكتارا قرب مدينة مصراته على بعد 210 كيلو مترا إلى الشرق من مدينة طرابلس، تبلغ الطاقة التصميمية للشركة 1324000 طنا من الصلب السائل سنوياً، تم تطويرها إلى 1600000 طنا بطريقة الاختزال المباشر لمكورات الحديد باستخدام الغاز الطبيعي المحلي، ولقد تم وضع حجر الأساس للشركة في 1979/9/18 ميلادي إيذانا بإرساء قاعدة التصنيع الثقيل في ليبيا وبتاريخ 1989/9/9 ميلادي تم افتتاح الوحدات الإنتاجية؛ وبذلك دخلت الشركة مرحلة الإنتاج، وتضم الشركة العديد من الوحدات الإنتاجية، والتي من أهمها مصنع الدرفلة الطولية.

تعتبر الشركة الليبية للحديد والصلب من الشركات الرائدة في مجال صناعة الحديد والصلب في ليبيا وشمال أفريقيا؛ حيث دخلت مرحلة التشغيل التجاري سنة 1989 بطاقة تصميمية سنوية بلغت 1300طنا من الصلب السائل، متبعة في عملياتها أسلوب الاختزال المباشر لمكورات أكسيد الحديد عالية الجودة، وأنتجت الشركة الليبية للحديد والصلب من بداية تأسيسها عام 1989 ما يزيد عن 23 مليون طنا من المنتجات الصلب النهائية التي تم تسويقها في الأسواق المحلية والإقليمية والعالمية هذه المنتجات تميزت بجودتها وأسعارها المنافسة وملاءمتها للاستخدامات النهائية للزبائن.

وفي إطار التطوير الذي تشهده الشركة الليبية للحديد والصلب وذلك لرفع القدرة الإنتاجية للشركة من 1.24 مليون طن سنويا إلى حوالي 4 مليون طن سنوياً، تم التعاقد مع عدة شركات وذلك لإنشاء مصنع للقضبان جديد بكامل مرافقه المساعدة بقدرة إنتاجية تصل إلى حوالي 880 ألف طن سنويا من حديد التسليح بأقطار تتراوح من 8 مم إلى 40 مم.

ويحتوي هذا المصنع على أحدث التقنيات المستخدمة في عملية الدرفلة الطولية والتي منها الدرفلة بالشق الطولي والدرفلة الأحادية، كما يحتوي على أحدث أنظمة التحكم للتحكم في سير العملية الإنتاجية. ويتغذى المصنع بالطاقة الكهربائية من خلال مغذيين للكهرباء قدرة كل منهما (19 MVA)، ويحتاج المصنع لمصدر من المياه بتدفق يصل إلى (3900 m3/h) والذي يتم توفيره من خلال محطة معالجة المياه التابعة له. كما يحتوي المصنع على محطة لضغط الهواء إلى حوالي 6.5 bar () لتغطية احتياجات المصنع من الهواء المضغوط، ويحتوي على خط إنتاجي واحد لدرفلة القضبان ومنظومة التبريد السريع بالماء (TMT)، وبدأ تشغيله عام2018.

تبلغ الطاقة الإنتاجية التصميمية الكلية للمصنع حوالي (800,000) طن سنويا من القضبان بأقطار تتراوح ما بين 8 مم إلى 40 مم، والجدول (1) يبين الإنتاج السنوي لكل نوع من القضبان.

الجدول 1: القدرة الإنتاجية التصميمية للمصنع لكل نوع من القضبان

نوع المنتج (∅mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	36	40
النسبة%	4	10	41.75	25	6.25	2	2	2	2	1	1	1	1	1
المجموع	32,000	90,000	334,000	200,000	50,000	16,000	16,000	16,000	16,000	8000	8000	8000	8000	8000

ويعمل المصنع على أساس ثلاث ورديات بواقع ثمان ساعات يومياً، والمصنع مصمم لدرفلة الصلب المنخفض والمتوسط وعالي الكربون، وقد صمم المصنع لكي يكون تحت بنود الجودة المعتمدة في معايير الصناعة الألمانية.

2.4 تمييز المنتوج والتعامل مع حالات عدم المطابقة

يتم تمييز المنتوج بوضع لوحة بلاستيكية على الحزم والتي تحتوي المعلومات (اسم الشركة، المصنع، الزبون، رقم الطلبية، الحجم، رقم الدفعة، رقم الربطة، رقم الحمية، المواصفات، الوزن(كجم)، الطول والتاريخ) ويتم تمييز الطلبيات وجودة الإنتاج بطلاء نهاية الحزمة بلون معين حسب الجدول لمنتجات مصنع القضبان ويقوم مفتش الجودة بتمييز حالات التفتيش طبقا لتقارير التفتيش اليومية كما هو مبين في الجدول (2):

الجدول 2: تميز المنتج بطلاء نهاية الحزمة

ت	حالة التفتيش	النوع	التميز
1	مقبول	عالي المقاومة	حسب طلب الزبون
	غير مطابق	متوسط ومنخفض المقاومة	بدون طلاء
2	المواصفات	عالي المقاومة	أبيض
	مرفوض	متوسط ومنخفض المقاومة	أصفر
3		جميع أنواع الحديد	أحمر

المصدر: إعداد الباحث الأول استنادا إلى معلومات تم الحصول عليها من قسم الجودة بالشركة

تقوم إدارة مصنع درفلة القضبان2 بدراسة أسباب عدم المطابقة للمنتوج من

خلال المعلومات الواردة بالتقارير الدورية وإجراءات القياس واتخاذ إجراءات التغلب على هذه الحالات، بتشكيل فريق عمل للتغلب على هذه المشاكل والحصول على إنتاج مطابق لا يقل عن النسبة المحددة من أهداف الشركة. وأما بالنسبة للمنتوج غير المطابق لمواصفات الطلبية فيتم التعامل معه بتخزينه وشحنه لطلبيات أخرى تكون مواصفاتها مطابقة للمطلوب، وبالنسبة للإنتاج المرفوض (المعدوم) يتم شحنه لساحة الخردة.

العروق عبارة عن مواد خام تستخدم لإنتاج القضبان يتم شحنها من مصنع الصلب (1)، ويقوم مفتش الجودة بالخطوط الإنتاجية بالتعامل مع العروق غير المطابقة كما بُين في الجدول (3):

الجدول 3: التعامل مع العروق غير المطابقة

رقم	وصف المنتج	التصرف
1	عروق محلية غير مطابقة للمواصفات أو لا تحمل أرقاما حرارية أو نوعية الصلب أو معلمة من قبل مراقب جودة بمصنع الصلب رقم (1) بعلامة (X) أو (C)	لا يتم استلامها ويتم إرجاعها على الشاحنة نفسها إلى مصنع الصلب رقم (1)
2	عروق مستوردة غير مطابقة للمواصفات لا تحمل أرقاما حرارية أو نوعية الصلب أو معلمة من قبل مراقب جودة بمصنع الصلب رقم (1) بعلامة (X) أو(C)	لا يتم استلامها ويتم إرجاعها على الشاحنة نفسها إلى الساحة الخارجية
3	عروق يتم تمييزها بعلامة(X) أو(C) من قبل مراقب الجودة بالمصنع.	يتم تخزينها بمخازن خاصة وشحنها بعد ذلك لمصنع الصلب للتصرف فيها.

المصدر: إعداد الباحث الأول استنادا إلى معلومات تم الحصول عليها من قسم الجودة في الشركة

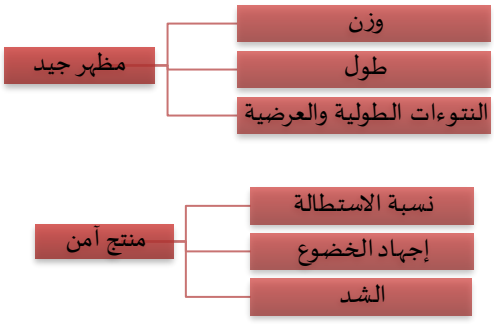
(x) تعني أن هذا العرق غير صالح للدرفلة لوجود عيوب سطحية أو عدم مطابقة المقاسات الهندسية.

(C) تعني أن هذا العرق يمكن الاستفادة منه ويحتاج إلى معالجة، مثلاً زيادة في طول العرق.

3.4 الجانب التطبيقي

أ. مرحلة التعريف:

تهدف هذه المرحلة إلى تحديد المنتجات التي يتم تصنيعها في المصنع الخاص بدرفلة القضبان داخل الشركة الليبية للحديد والصلب، لاختيار أحد المنتجات ليتم تطبيق منهجية الستة سيجما عليه. وينتج المصنع عدة أقطار (8، 10، 14، 16، 18، 20، 22، 25، 28، 30، 32، 36، 40) ملم، ويتم الإنتاج حسب الطلب في السوق، وفي هذا البحث تم اختيار القطر 8 ملم لدراسة العيوب والمشاكل في هذا المنتج، ويعتبر هذا المنتج من الأقطار المطلوبة في السوق وكذلك يعتبر أكثر قطر في نسبة المعيب لصغر حجمه. ومن أهم الخصائص الحرجة على جودة هذا المنتج هي كما موضح في الشكل (1):



الشكل 1: الخصائص الحرجة للجودة (المصدر: إعداد الباحث الأول)

الشكل السابق يوضح أن المنتج الجيد والآمن يجب أن يكون ضمن المواصفات المطلوبة من المظهر الخارجي والاختبارات الميكانيكية.

أولاً: بيان المشكلة والهدف:

أظهرت النتائج التحليلية المتوفرة لدى قسم الرقابة على الجودة وجود مسامات في القضبان، مما يسبب في حدوث مشاكل في الشكل الخارجي للمنتج تؤثر سلباً على جودة وفعالية هذه المنتجات. وتهدف هذه الدراسة لتحسين الخواص الميكانيكية والمظهر الخارجي للمنتج والخفض من الانحرافات عن المواصفات المطلوبة.

ثانياً: أعضاء الفريق:

قد تم تشكيل فريق من ثلاثة أعضاء لإجراء هذه الدراسة: رئيس الفريق الباحث الأول الذي وضع خطة الدراسة وتحليلها؛ فني المعمل الذي قام بجمع بيانات العينات الخاصة بالدراسة؛ ومهندس من قسم الجودة قام بتحديد أغلب المشاكل الخاصة بالقضبان للقطر 8 ملم وأسبابها.

ثالثاً: مؤشرات الأداء:

هي المؤشرات التي تم دراستها وقياسها وتحليلها لمعرفة مستوى جودة الإنتاج داخل مصنع الدرفلة وتتمثل في: الانحراف المعياري، المتوسط الحسابي، مستوى ستة سيجما ومقدرة العملية الإنتاجية. تم في هذه المرحلة تحديد أنواع العيوب وكمية العيوب في شهر يونيو لسنة 2022 كما هو مبين في الجدول (4).

الجدول 4: أنواع العيوب وكمياتها في شهر يونيو2022

نوع العيب	الكمية بالطن
عدم وجود علامة تجارية	2104
أطوال غير منتظمة	872
قطع سيء	650
زيادة وزن المتر الطولي	312
انخفاض في جهد الخضوع	165
منتج مسطح	5

المصدر: إعداد الباحث الأول استنادا إلى تقرير الجودة الخاص بتحليل العيوب في شهر يونيو2022.

تم أيضا في هذه المرحلة قياس مستوى الستة سيجما للشهر ستة داخل مصنع الحديد والصلب لمعرفة أداء المصنع، والجدول (5) يوضح كمية الإنتاج والمعيب:

الجدول 5: كمية الإنتاج والمعيب

المنتجات	الكمية
كمية الإنتاج الإجمالية	12950 طن
كمية الإنتاج الخارجة عن المواصفات	4103 طن
كمية الإنتاج المرفوض	5 طن
كمية الإنتاج المعيب	4108 طن
النسب المئوية للإنتاج المعيب	%31
إجمالي عدد العيوب التي ظهرت في القضبان	6 عيب

المصدر: إعداد الباحث الأول استنادا إلى بيانات التي تم قياسها للمنتجات القضبان التي تم تصنيعها في شهر يونيو2022.

- **تحديد مستوى سيجما لمصنع درفلة القضبان:**

نسبة الدقة في العمليات =1 - %31 = %69

$$\text{العيوب لكل فرصة DPO} = \frac{\text{كمية الإنتاج المعيب}}{6\times\text{إجمالي الأنتاج}} = 0.0528$$

العيوب لكل مليون فرصة DPMO = 0.0686 ×106 =52870 عيب

وقيمة DPMO 68600 تقابل مستوى الثالث للسيجما.

كما يمكن حساب مستوى سيجما بالمعادلة التالية:

Sigma level = 0.8406

$$+\sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln\,(52870)} = 3$$

وهذا يوضح أن مستوى السيجما في مصنع درفلة القضبان هو المستوى الثالث.

ب. مرحلة القياس:

يتم في هذه المرحلة جمع المعلومات والبيانات عن عملية تصنيع القضبان

وتحديد الأدوات التي سيتم بها القياس، ولتوضيح العملية أكثر تم اختصار عملية إنتاج القضبان في النقاط التالية:

1. استلام العروق من مصنع الصلب (1) والكشف عليها، وإذا لم تكن ضمن حدود المواصفات يتم إرجاعها لمصنع الصلب (1).
2. في المرحلة الثانية من التصنيع، تشحن العروق التي تقع ضمن حدود المواصفات إلى حصيرة الاستقبال بواسطة رافعة علوية، لكي تنظف بواسطة معدة إزالة القشور.
3. بعد تنظيف العروق يتم وضعها في الفرن بدرجة حرارة 1100 درجة مئوية.
4. تبدأ مرحلة الدرفلة الخشنة الأولى التي تحتوي على (8) قوائم، ومن ثم يتم تقسيم العروق إلى خطي إنتاج للدرفلة.
5. بعد ذلك تأتي المرحلة النهائية للدرفلة، والتي تحتوي على (6) قوائم.
6. تحديد القطر النهائي المطلوب إنتاجه.
7. تشغيل التبريد والمعالجة الحرارية للمنتج لإكسابه الخواص الميكانيكية المطلوبة.
8. وفي المرحلة الأخيرة من التصنيع توضع المنتجات النهائية في حصيرة التبريد بواسطة الهواء.
9. عند الانتهاء من مرحلة التبريد تجمع المنتجات بواسطة معدة الإنتاج ليتم قصها حسب الأطوال المطلوبة، ومن ثم عدها وربطها في حزم.
10. وزن الحزم وفرز الإنتاج المرفوض ليتم وضعه في ساحة الخردة، وأما الإنتاج المقبول فيتم تخزينه وشحنه.

كما تم وضع خطة للمعاينة وجمع البيانات كما يلي:

الخاصية المقاسة:

تم قياس أهم الخواص الميكانيكية وهي إجهاد الخضوع، قوة الشد، والاستطالة للقطر 8 ملم، وكذلك فقد تم قياس الوزن.

طريقة القياس:

تم قياس الوزن لكل متر طولي بالميزان، قوة الشد والاستطالة وإجهاد الخضوع قد تم قياسها عن طريق أخذ قطعة كعينة من القضبان وتثبيتها بآلة اختبار الشد وتطبيق عملية الشد عليها ثم قياس نسبة الاستطالة بالقدمة ذات الورنية، وقوة الشد وإجهاد الخضوع بالبرنامج الخاص بآلة اختبار الشد الذي يقوم بحساب ومراقبة وتسجيل نتائج الاختبار ورسم منحنى القوة.

المعاينة:

تم أخذ 25 عينة حجم كل عينة خمس مفردات، وتم تسجيلها عن القطر 8 ملم، وتحليلها وقياس وزنها والخواص الميكانيكية لها.

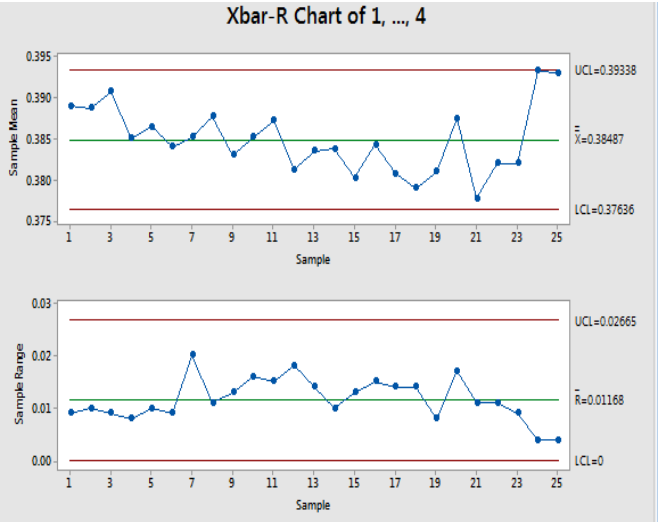
ج. مرحلة التحليل:

ويتم تحليل البيانات بواسطة برنامج Minitab عن طريق:

- إدخال البيانات في نافذة Work sheet، ستبدو نافذة ورقة العمل مشابهة جدًا لجدول بيانات Excel.
- يتم تحديد الحسابات والإحصائيات المطلوب حسابها عن طريق الضغط على (State) ثم اختار دالة (Basic Statistics) وثم اختيار Store (Descriptive Statistics)، وستظهر النواتج في نافذة الجلسة Session.
- يتم رسم لوحات الضبط والتحكم عن طرق الضغط على الدالة control charts، واختيار نوع اللوحة المستخدمة في البحث.
- استخدام المخططات الاحتمالية Probability Plots للتعرف على القيم المتطرفة وحالات الخروج عن المنحنى الطبيعي.
- ولمعرفة مقدرة العملية الإنتاجية يتم الضغط على الدالة Quality tools ثم اختيار Capability analysis.

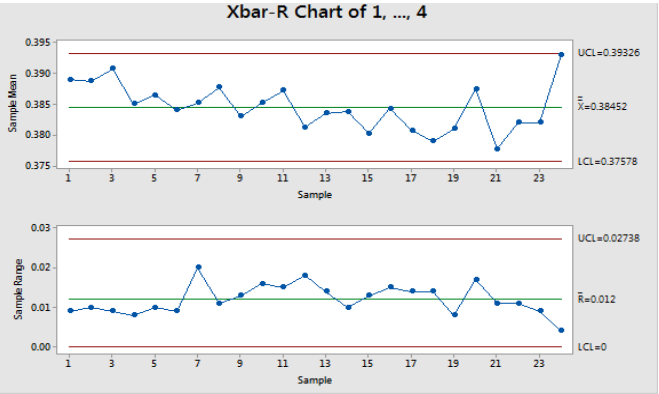
الـــــوزن:

الوزن هو الخاصية الفيزيائية المقاسة والتي تعبر عن المظهر الخارجي، تم جمع 25 عينة، كل عينة مكونة من 5 مفردات. تم جمع هذه البيانات الخاصة بالأوزان لكل متر طولي من ضمن السجل الخاص بدراسة العينات الناتجة من دفعات الإنتاج، حيث يتم إنتاج الدفعات ضمن المواصفات المحددة للشركة. وباستخدام برنامج Minitab تم رسم لوحات المتوسط والمدى الخاصة بأوزان القضبان للقطر 8ملم، كما هو موضح في الشكل (2). برنامج ميني تاب Minitab هو برنامج إحصائي يسمح بإدخال البيانات بسهولة ثم تشغيل مجموعة متنوعة من التحليلات على تلك البيانات، ويمكن من خلاله إعداد المخططات وحساب الانحدار بكفاءة، ويعمل برنامج ميني تاب Minitabعلى إدخال البيانات بطريقة مشابهة جدًا لبرنامج الإكسل، وبشكل عام يوفر البرنامج على مستخدميه الكثير من العمل والوقت عند دراسة الإحصائيات. والبرنامج هو عبارة عن حزمة إحصائية تم تطويرها في جامعة ولاية بنسلفانيا من قِبل مجموعة من الباحثين في العام 1972، وقد بدأ كنسخة خفيفة من برنامج OMNITAB 80 وهو برنامج تحليل إحصائي من تطوير المعهد الوطني للمعايير والتقنية (NIST). عند بدء تشغيل برنامج ميني تابMinitab، ستظهر لك نافذتان رئيسيتان: نافذة الجلسة ونافذة ورقة العمل. ستعرض نافذة الجلسة Session Window المخرجات ونتائج أي تحليل، أما نافذة ورقة العمل Worksheet Window فهي المكان الذي تدخل فيه البيانات. ستبدو نافذة ورقة العمل مشابهة جدًا لجدول بيانات الإكسل [27].



الشكل 2: لوحة الضبط Xbar/R للوزن لكل متر قبل التحسين

نلاحظ أن العينة رقم 24 خارج حد الضبط الأعلى للوحة المتوسط مما يجعل العملية خارج السيطرة، ويرجح مهندس الجودة أن تكون هذه الظاهرة بسبب خلل في عملية التبريد مما سبب في وجود مسامات داخل القضبان. ولتحسين العملية يتم حذف البيانات الخاصة بالعينة رقم 24 وإعادة رسم لوحة الضبط للمتوسط والمدى، حيث نجد أن العملية تحت السيطرة كما في الشكل (3).

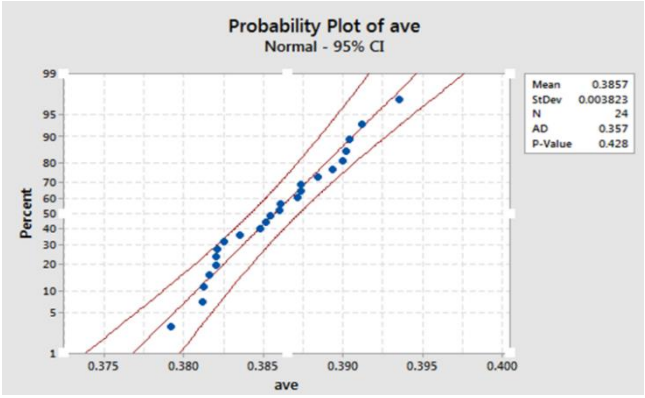


الشكل 3: لوحة الضبط Xbar/R للوزن لكل متر بعد التحسين

الجدول 6: تحليل بيانات عينات الوزن باستخدام الإحصاء الوصفي

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Median	Q3	Maximum
ave	24	0	0.38572	0.000780	0.00382	0.000015	0.37919	0.38572	0.38909	0.39350

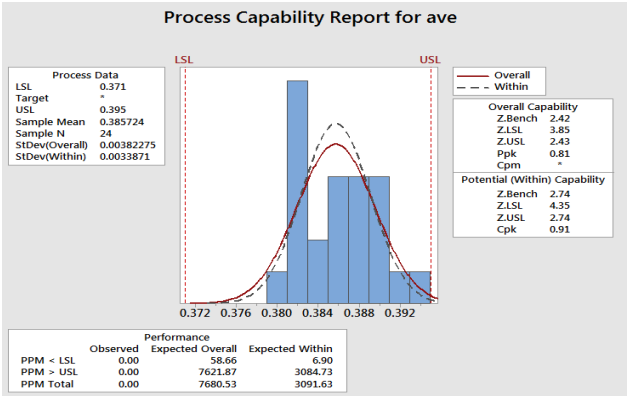
ولمعرفة مقدرة العملية يجب إجراء اختبار التوزيع الطبيعي Normality Distribution Test لمعرفة إن كانت البيانات تتبع التوزيع الطبيعي أم لا. والشكل (4) يوضح نتيجة اختبار التوزيع الطبيعي على عينات الوزن.



الشكل 4: اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات العينات الخاصة بالوزن

ويتضح من الشكل السابق أن قيمة P-value = 0.428، أي أن قيمة الاحتمالية أكبر من مستوى الدلالة الذي عادة ما يساوي α=0.05، وهذا يدل على أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي، وكذلك نلاحظ أن البيانات منتشرة بشكل منتظم حول الخط المستقيم.

وبعد ذلك تم إجراء تحليل مقدرة العملية الإنتاجية للبيانات الخاصة بالوزن لكل متر، كما موضح في الشكل (5).



الشكل (5) تحليل مقدرة العملية الإنتاجية الخاصة بالوزن

يتضح من الشكل (5) أن هناك انزياحاً بسيطا لقيمة متوسط العملية إلى الحد الأعلى من المواصفات، وأن مؤشر أداء العملية الإنتاجية: Ppk =81.0، والانحراف المعياري =0.0033871.

- **تحليل العينات الخاصة بالوزن:**

يتم تحليل البيانات التي جمعت من مرحلة القياس لإيجاد انحرافها المعياري ومتوسطها الحسابي كما مبين في الجدول (6).

ويتم حساب مستوي الستة سيجما للعينات الخاصة بالوزن عن طريق الخطوات التالية:

$$\bar{R} = 0.012 \quad , \quad d2 = 2.328$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0.012}{2.328} = 0.005$$

يتم حساب مقدرة العملية:

$$Cp = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{0.024}{6 \times 0.005} = 0.8$$

نلاحظ أن مقدرة العملية الإنتاجية (Cp<1) أي أن العملية تحتاج لاتخاذ إجراءات لتحسين حالة خط الإنتاج، ولفحص الإنتاج بنسبة 100% لعزل المنتجات المعيبة.

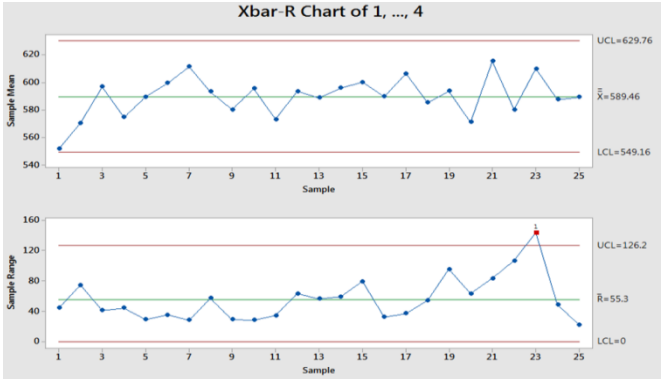
مستوى الستة سيجما للعملية الإنتاجية الخاصة بالوزن:

Sigma level=3×cp=3×0.8=2.4

يعتبر مستوى السيجما للوزن غير مقبول، وعليه يجب إجراء عمليات التحسين.

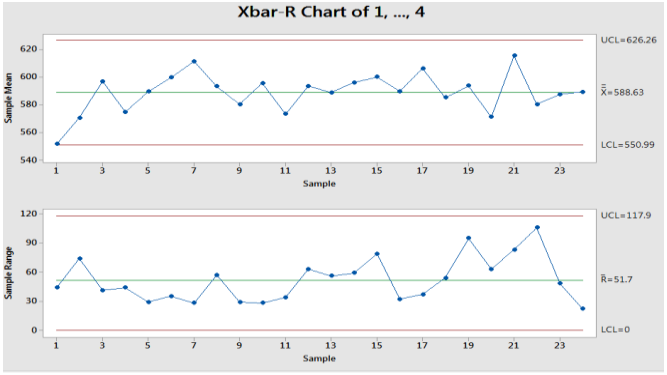
- **إجهاد الخضوع**

يمكن تعريف إجهاد الخضوع على أنه النقطة التي يحدث فيها زيادة ملحوظة في الاستطالة بدون الزيادة في الحمل، وفي هذه الحالة يمكن اعتبارها نهاية مرحلة المرونة وبداية مرحلة اللدونة للمعدن، ويقاس الإجهاد بوحدة N\m2. تم جمع 25 عينة، كل عينة مكونة من 5 مفردات. تم جمع هذه البيانات الخاصة بإجهاد الخضوع من السجل الخاص بدراسة العينات الناتجة من دفعات الإنتاج، حيث يتم إنتاج الدفعات ضمن المواصفات المحددة للشركة. وباستخدام برنامج Minitab تم رسم لوحات المتوسط والمدى الخاصة بخاصية إجهاد خضوع، كما في الشكل (6).



الشكل 6: لوحة الضبط Xbar/R لإجهاد الخضوع قبل التحسين

نلاحظ أن العينة رقم 23 خارج حد الضبط الأعلى للوحة المدى، مما يجعل العملية خارج السيطرة، ويرجح مهندس الجودة أن إجهاد الخضوع منخفض بسبب خلل في عملية التبريد أو بسبب انخفاض نسبة عنصر الكربون. ولتحسين العملية يتم حذف البيانات الخاصة بالعينة رقم 23، وإعادة رسم لوحة الضبط للمتوسط والمدى، وبالتالي تصبح العملية تحت السيطرة كما في الشكل (7).



الشكل 7: لوحة الضبط Xbar/R لإجهاد الخضوع بعد التحسين

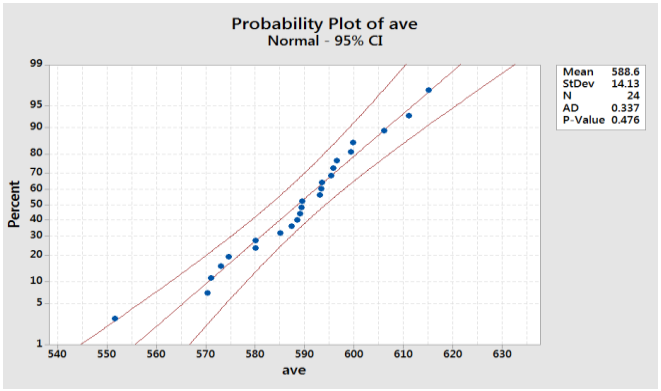
- **تحليل العينات الخاصة بإجهاد الخضوع:**

تم تحليل البيانات التي جمعت من مرحلة القياس لإيجاد انحرافها المعياري ومتوسطها الحسابي كما هو مبين في الجدول (7).

الجدول 7: تحليل بيانات عينات إجهاد الخضوع باستخدام الإحصاء الوصفي

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ave	24	0	588.63	2.88	14.13	551.50	580.00	589.38	596.31	615.00

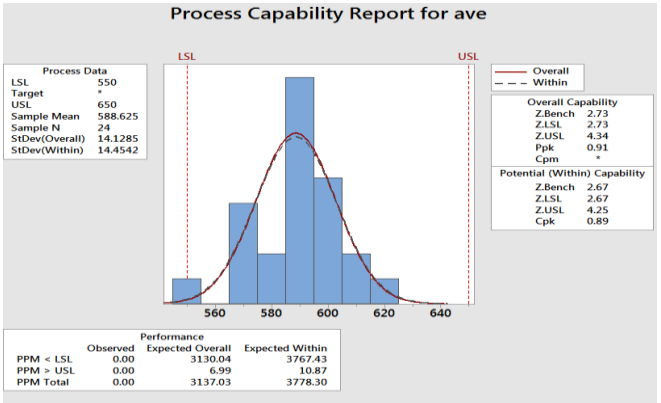
ولمعرفة مقدرة العملية يجب إجراء اختبار التوزيع الطبيعي Normality Distribution Test لمعرفة إن كانت البيانات تتبع التوزيع الطبيعي أم لا. والشكل (8) يوضح نتيجة اختبار التوزيع الطبيعي على العينات الخاصة بخاصية إجهاد الخضوع.



الشكل 8: اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات العينات الخاصة بخاصية إجهاد الخضوع

ويتضح من الشكل السابق أن قيمة P-value = 0.476، أي أن قيمة الاحتمالية أكبر من مستوى الدلالة الذي عادة ما يساوي α=0.05، وهذا يدل على أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي، وكذلك نلاحظ أن البيانات منتشرة بشكل منتظم حول الخط المستقيم.

وبعد ذلك تم إجراء تحليل مقدرة العملية الإنتاجية للبيانات الخاصة بإجهاد الخضوع، كما هو موضح في الشكل (9).



الشكل 9: تحليل مقدرة العملية الإنتاجية الخاصة بخاصية إجهاد الخضوع

يتضح من الشكل (9) أن هناك انزياحاً بسيطاً لقيمة متوسط العملية إلى الحد الأدنى من المواصفات، وأن مؤشر أداء العملية الإنتاجية: Ppk=0.91، والانحراف المعياري =14.1285.

ويتم حساب مستوى الستة سيجما للعينات الخاصة بخاصية إجهاد الخضوع عن طريق الخطوات التالية:

$$\bar{R} = 51.7 \quad , \quad d2=2.32$$

$$\alpha=\frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{51.7}{2.328} =38.9$$

يتم حساب مقدرة العملية:

$$Cp = \frac{T}{6\sigma} = \frac{100}{6\times 38.9} =0.42$$

نلاحظ أن مقدرة العملية الإنتاجية (Cp<1)أي أن العملية تحتاج لاتخاذ إجراءات لتحسين حالة خط الإنتاج، ولفحص الإنتاج بنسبة 100% لعزل المنتجات المعيبة.

مستوى الستة سيجما للعملية الإنتاجية الخاصة بإجهاد الخضوع

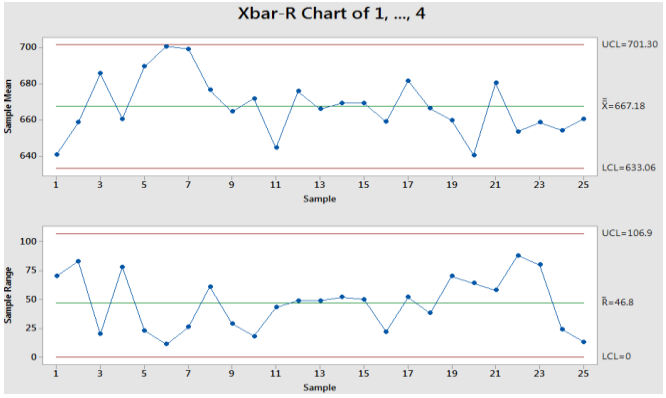
Sigma level=3× cp =3×0.42=1.2

يعتبر مستوى السيجما بالنسبة لإجهاد الخضوع غير مقبول، وعليه يجب التحسين.

- **قوة الشد**

تعرف قوة الشد على أنها أقصى إجهاد شد يمكن أن يتحمله الجسم قبل الفشل، وتقاس قوة الشد بوحدة نيوتن. وتتم عملية الشد عن طريق قياس طول العينة ووضع علامة لكل 10سم. بعد التعليم على العينة يتم وضعها في الجهاز وتطبيق الشد عليها وفي اللحظة التي حدث فيها الكسر يقوم جهاز الكمبيوتر بتحديد قوة الشد الذي تسبب في كسر العينة، وبعد ذلك يتم قياس العينة مرة أخرى لحساب قيمة الاستطالة التي حدثت للعينة.

وهذه البيانات في الجدول (8) خاصة بقوة الشد تم جمعها من سجلات المصنع. تم جمع 25 عينة، كل عينة مكونة من 5 مفردات. تم جمع هذه البيانات الخاصة بقوة الشد من السجل الخاص بدراسة العينات الناتجة من دفعات الإنتاج، حيث يتم إنتاج الدفعات ضمن المواصفات المحددة للشركة. وباستخدام برنامج Minitab، تم رسم لوحات المتوسط والمدى الخاصة بخاصية قوة الشد، كما في الشكل (10):



الشكل 10: لوحة الضبط Xbar/R لقوة الشد قبل التحسين

الجدول 8: تحليل بيانات عينات قوة الشد باستخدام الإحصاء الوصفي

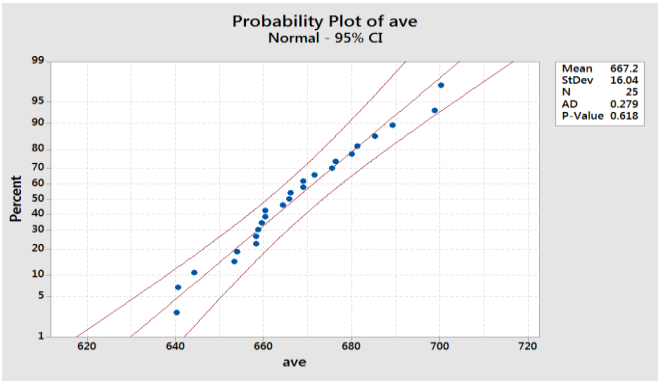
Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
ave	25	0	667.18	3.21	16.04	640.25	658.25	665.75	678.13	700.25

نلاحظ أن العينات التي تم اختبارها تقع ضمن حدود المواصفات، أي أنه لا توجد مشاكل في العينات المقاسة الخاصة بقوة الشد.

- **تحليل العينات الخاصة بقوة الشد:**

يتم تحليل البيانات التي جمعت من مرحلة القياس لإيجاد انحرافها المعياري ومتوسطها كما هو مبين في الجدول (9).

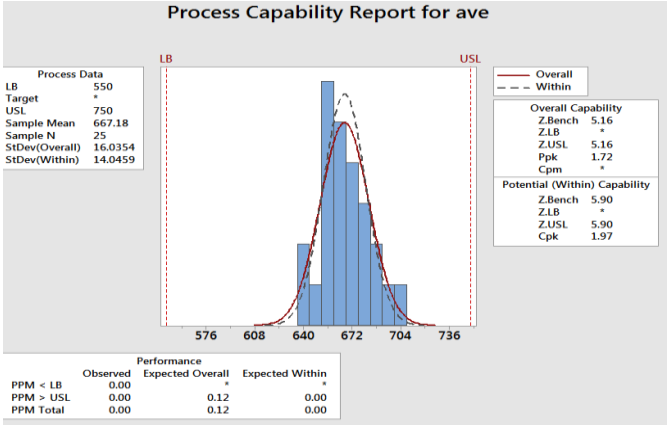
ولمعرفة مقدرة العملية الإنتاجية يجب إجراء اختبار التوزيع الطبيعي Normality Distribution Test لمعرفة إن كانت البيانات تتبع التوزيع الطبيعي أم لا. والشكل (11) يوضح نتيجة اختبار التوزيع الطبيعي على عينات خاصية قوة الشد.



الشكل 11: اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات العينات الخاصة بخاصية قوة الشد

ويتضح من الشكل السابق أن قيمة P-value = 0.618 ، أي أن قيمة الاحتمالية أكبر من مستوى الدلالة الذي عادة ما يساوي α=0.05، وهذا يدل على أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي، وكذلك نلاحظ أن البيانات منتشرة بشكل منتظم حول الخط المستقيم.

وبعد ذلك تم إجراء تحليل مقدرة العملية الإنتاجية للبيانات الخاصة بخاصية قوة الشد، كما هو موضح في الشكل (12).



الشكل 12: تحليل مقدرة العملية الإنتاجية الخاصة بخاصية قوة الشد

يتضح من الشكل (12) أن هناك انزياحاً بسيطاً لقيمة متوسط العملية إلى الحد الأعلى من المواصفات، وأن مؤشر أداء العملية الإنتاجية: Ppk =1.72،

والانحراف المعياري =16.0354.

ويتم حساب مستوي الستة سيجما للعينات الخاصة بخاصية قوة الشد عن طريق الخطوات التالية:

$$\overline{R} = 46.8 \qquad d_2 = 2.328$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{46.8}{2.328} = 20.10$$

يتم حساب مقدرة العملية:

$$cp = \frac{T}{6\sigma} = \frac{200}{6\times 20.10} = 1.6$$

نلاحظ أن مقدرة العملية الإنتاجية (Cp>1.33) أي أن يتعين علينا مراجعة حدود المواصفات أو العملية الإنتاجية بهدف خفض تكاليف الإنتاج لعدم الحاجة لهذه الدقة العالية.

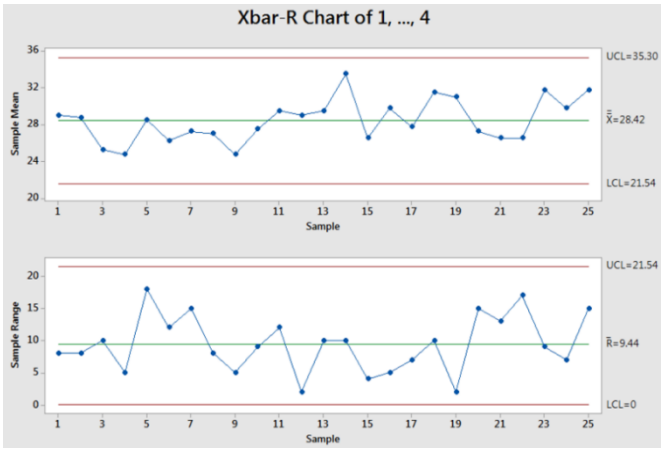
مستوى الستة سيجما للعملية الإنتاجية الخاصة بخاصية قوة الشد

Sigma level=3×1.6=4.9

يعتبر مستوى السيجما بالنسبة لقوة الشد جيد جدا.

- **الاستطالة**

تعرف الاستطالة بأنها مقياس يُحدد التغيّر في النسبة المئويّة لطول العينة قبل وبعد تطبيق قوة الشد عليها. تم جمع 25 عينة، كل عينة مكونة من 5 مفردات. تم جمع هذه البيانات الخاصة بخاصية الاستطالة من السجل الخاص بدراسة العينات الناتجة من دفعات الإنتاج، حيث يتم إنتاج الدفعات ضمن المواصفات المحددة للشركة. وباستخدام برنامج Minitab تم رسم لوحات المتوسط والمدى الخاصة بخاصية الاستطالة، كما في الشكل (13)



الشكل 13: لوحة الضبط Xbar/R بخاصية الاستطالة قبل التحسين

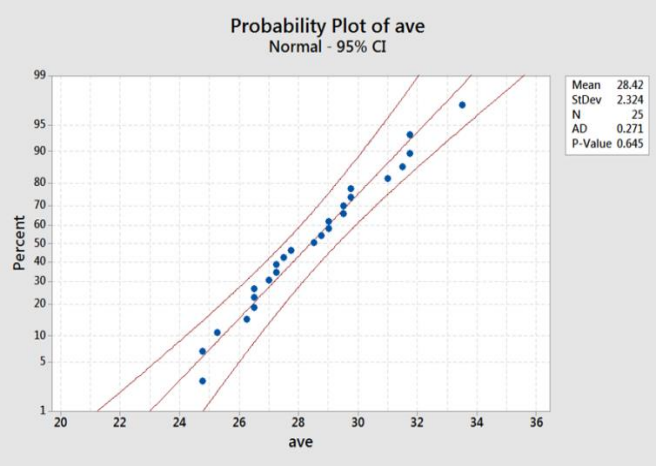
نلاحظ أن العينات التي تم اختبارها تقع ضمن حدود المواصفات، أي أنه لا توجد مشاكل في العينات المقاسة الخاصة بالاستطالة.

- **تحليل العينات الخاصة بالاستطالة:**

الجدول 9: تحليل بيانات عينات الاستطالة باستخدام الإحصاء الوصفي

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
ave	25	0	28.420	0.465	2.324	24.750	26.500	28.500	29.750	33.500

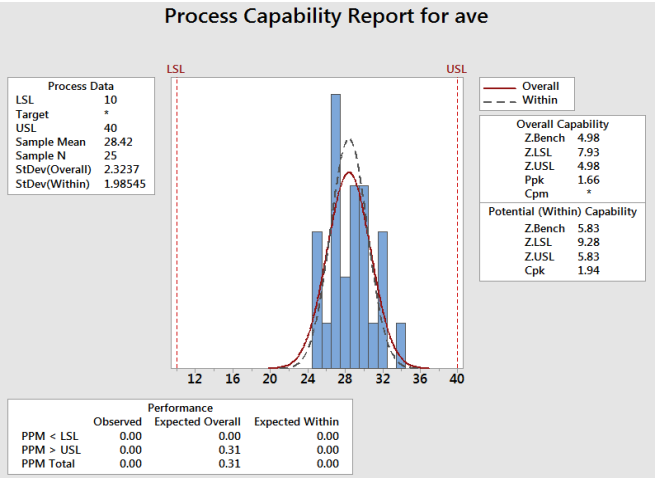
ولمعرفة مقدرة العملية الإنتاجية تم إجراء اختبار التوزيع الطبيعي Normality Distribution Test لمعرفة إن كانت البيانات تتبع التوزيع الطبيعي أم لا. والشكل (14) يوضح نتيجة اختبار التوزيع الطبيعي على عينات خاصية الاستطالة.



الشكل 14: اختبار التوزيع الطبيعي للعينات الخاصة بخاصية الاستطالة

ويتضح من الشكل السابق أن قيمة P-value=0.645، أي أن قيمة الاحتمالية أكبر من مستوى الدلالة الذي عادة ما يساوي α=0.05، وهذا يدل على أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي، وكذلك نلاحظ أن البيانات منتشرة بشكل منتظم حول الخط المستقيم.

وبعد ذلك تم إجراء تحليل مقدرة العملية الإنتاجية للبيانات الخاصة بالاستطالة، كما هو موضح في الشكل (15).



الشكل 15: تحليل مقدرة العملية الإنتاجية الخاصة بخاصية الاستطالة

يتضح من الشكل (15) أن هناك انزياحاً بسيطاً لقيمة متوسط العملية إلى الحد الأعلى من المواصفات، وأن مؤشر أداء العملية الإنتاجية ppk= 1.66، والانحراف المعياري=1.98545.

ويتم حساب مستوى الستة سيجما للعينات الخاصة بخاصية الاستطالة عن طريق الخطوات التالية:

يتم تحليل البيانات التي جمعت من مرحلة القياس لإيجاد انحرافها المعياري ومتوسطها الحسابي كما هو مبين في الجدول (9)

$$\bar{R} = 9.44$$

d_2=2.328

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{9.44}{2.328} = 4.05$$

يتم حساب مقدرة العملية:

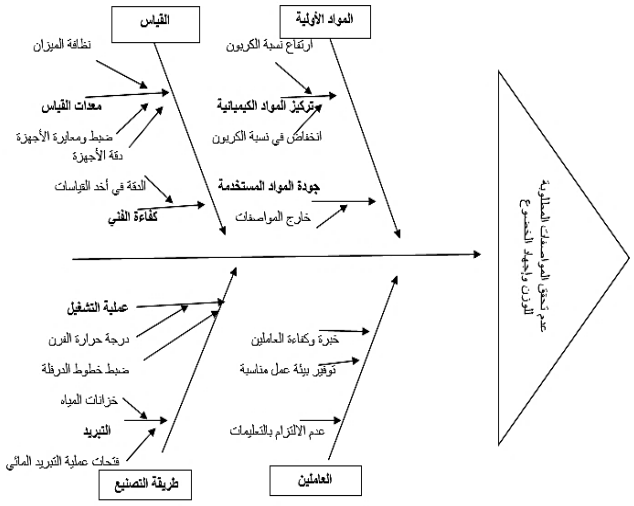
$$Cp = \frac{T}{6\sigma} = \frac{30}{6\times 4.05} = 1.2$$

نلاحظ أن مقدرة العملية الإنتاجية (1.33>Cp>1) أي أن الحالة هنا مثالية ولا تحتاج العملية لاتخاذ أي إجراءات لتحسين مستوى الستة سيجما للعملية الإنتاجية الخاصة بخاصية الاستطالة.

Sigma level =3 ×cp= 3×1.2=3.7

يعتبر مستوى السيجما بالنسبة للاستطالة جيداً.

ومن النتائج التي تم الحصول عليها للوزن وإجهاد الخضوع وبهدف تحسينها، تم إنشاء مخطط السبب والأثر لتحديد المسببات الرئيسة للمشكلة كما هو موضح في الشكل (16).



الشكل 16: مخطط السبب والأثر لتحديد الأسباب الجذرية للمشكلة

ومن خلال مخطط السبب والأثر ومناقشة هذه الأسباب مع أعضاء الفريق أمكن تحديد أهم الأسباب الجذرية لحدوث مشاكل في **المنتجات**؛ حيث تبين أن فتحات عملية التبريد من العوامل التي تساعد في حدوث قطع معيبة، والكشف الدوري على هذه الفتحات قبل عملية التصنيع من شأنه أن يقلل من حدوث المعيب في الإنتاج، وكذلك عامل المواد الأولية، حيث يجب التأكد من تركيز المواد الكيميائية للعروق قبل تشغيلها لتجنب الحصول على منتجات خارج المواصفات، لأن انخفاض عنصر الكربون يؤدي للحصول على منتجات خارج حد الضبط الأعلى للمواصفات.

د. مرحلة التحسين

من أجل إجراء عملية التحسين على الدراسة الحالية في العمليات التصنيعية بالاعتماد على ما أظهرته النتائج ومخطط السبب والأثر؛ أمكن تحديد الأسباب التي أدت إلى الخروج عن حدود المواصفات، وبالتالي كانت هناك نسبة

معيب في الإنتاج.

تم اقتراح حلول تساهم في تحسين جودة المنتجات، والتي يمكن لإدارة المصنع تطبيقها في سبيل التحسين وخفض نسبة المعيب، وهي كالآتي:

- يجب على العاملين في مصنع الدرفلة مراجعة نسبة المواد الكيميائية لكل عرق قبل تشغيله للتأكد من أن المواد الكيميائية ضمن المواصفات، وإلا يتم إعادته لمصنع الصلب.
- عمل كشف دوري وصيانة دورية على مجرى التبريد المائي.

ومن خلال هذه الدراسة والزيارات التي قمنا بها، والنتائج التي تحصلنا عليها، قمنا بتحديد أهم المعوقات والصعوبات التي تحول دون تطبيق منهجية الستة سيجما:

1. لا توجد إرادة حقيقية للشركة الليبية للحديد والصلب على تبني وتطبيق هذه المنهجية في تحليل العيوب التي تظهر بالمنتجات النهائية.
2. يحتاج العاملين بالمصنع إلى التدريب لكي يصبحوا مؤهلين لتطبيق هذه المنهجية بشكل دقيق.
3. لا توجد رغبة كبيرة لتعلم وتطبيق هذه المنهجية، بسب استخدام أدوات الجودة الأخرى في تحليل البيانات.
4. عدم توفر البنية التنظيمية الخاصة بمنهجية الستة سيجما، والتي تحدد أدوار ومسؤوليات المشاركين في تطبيق هذه المنهجية.

5. الاستنتاجات

توصلت الدراسة إلى عدّة استنتاجات هامّة، يمكن توضيحها فيما يلي:

1. تشير نتائج البحث أن هناك إنتاج معيب حدث بسبب انخفاض نسبة الكربون.
2. ظهور لبعض العيوب مثل الفجوات التي تكون داخل القضبان مما تسبب في تشوه المظهر العام لأسباب غير معروفة.
3. منهجية الستة سيجما مطبقة داخل المصنع، ولكن بشكل محدود جدا.
4. يوجد بعض الثغرات في نظام المعلومات وعملية نقل المعلومات من وإلى الأقسام المختلفة داخل الشركة، ويتضح ذلك من خلال نتائج التحليل التي خرجت بها الدراسة بوجود انحرافات في إجهاد الخضوع بسب نسبة الكربون.
5. يمكن لمنهجية الستة سيجما تحديد أسباب العيوب وخفضها.
6. إن استخدام البرامج الحاسوبية مثل برنامج Minitab في تطبيق منهجية الستة سيجما من شأنه أن يوفر الوقت والجهد في عملية حساب لوحات المتوسط والمدى وحساب مقدرة العملية الإنتاجية؛ حيث إنه عند استخدام الطريقة اليدوية فإن العملية تستغرق وقتاً وتزداد صعوبة كلّما زاد عدد عينات الدراسة.
7. يمكن استخدام أساسيات هذه الدراسة لغرض اختيار ترتيب أولويات متطلبات التحسين بالمؤسسة ولغرض معرفة مقدرة العملية الإنتاجية ومستوى الجودة في مؤسسات أخرى سواءً كانت خدمية أو صناعية.

6. التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، نوصي بالآتي:

1. العمل على تطبيق منهجية الستة سيجما بمستويات عالية، فذلك من شأنه أن يؤدي إلى تقليل التالف وتخفيض التكاليف، والارتقاء بمستويات جودة أفضل من خلال تحسين العملية الإنتاجية.
2. تنفيذ دورات تدريبية للعاملين وعقد ورش عمل لتوضيح أهمية الستة سيجما وطريقة تطبيقها وفوائدها.
3. العمل على التحسين المستمر للعملية الإنتاجية من أجل زيادة مستوى أداء العمليات، وبالتالي تخفيض التالف في الإنتاج وتوفير الوقت والجهد مما يترتب عليه تقليل التكلفة وزيادة الأرباح.
4. قبل تطبيق منهجية الستة سيجما داخل مصنع الحديد والصلب ينبغي على الإدارة العليا توفير كافة المتطلبات لنجاح المنهجية، والتركيز على المتطلبات البشرية لتيسير نجاح عملية تطبيق المنهجية.
5. تطوير نظام تدفق المعلومات بالشركة لكي يضمن وصول المعلومة المناسبة إلى المكان المناسب وفي الوقت المناسب.
6. لتحقيق التنمية والتطوير في أي شركة من الواجب الالتزام بالجودة ومتطلباتها.
7. تأسيس معمل مجهز بمعدات قياس جيدة وتأهيل الفنيين بتدريبهم على استخدام منهجية الستة سيجما وأدواتها.
8. الاستفادة من هذه الدراسة ودعم الدراسات المشابهة.
9. توسيع هذه الدراسة مستقبلياً، وذلك بإجراء دراسات موسعة وشاملة عن جودة المنتجات الأخرى بمصنع الحديد والصلب وجودة العمليات الإنتاجية، كذلك الدمج بين منهجية الستة سيجما وأدوات الجودة الأخرى بشكل أكبر داخل المصنع للحصول على نتائج أفضل.

7. قائمة المراجع

[1]- https://www.libyansteel.com/index.php/ar/2014-03-02-00-05-08/2013-11-25-08-30-22 . تاريخ الدخول 2021/10/27 ساعة الدخول 6:00 مساء

[2]- إيثار الفيحان، صلاح حمزة، السيد عباس، 2005، تحسين العملية باستخدام طريقة Six Sigma دراسة حالة في الشركة العامة لتجارة الحبوب، مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، جامعة بغداد، العدد37.

[3]- ممدوح عبد العزيز رفاعي، 2006، تقييم منهج المتكامل لاستبعاد الفاقد وستة سيجما بالبنوك المصرية، مجلة الدراسات والبحوث التجارية، كلية التجارة جامعة بنها، المجلد26/ العدد الأول.

[4]- Adan Valles, Jaime Sanchez, Salvador Noriega, and Berenice Gomez Nunez, 2009, Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process, International Journal of Industrial Engineering, volume16(3).

[5]- سينا أحمد الراوي، 2011، استخدام منهج الستة سيجما في ضبط جودة التدقيق الداخلي، رسالة لنيل درجة الماجستير في المحاسبة، جامعة الشرق الأوسط.

[6]- زينب الشريفي، 2012، ستة سيجما مدخل للقيمة المتميزة للزبون، مجلة الغري للعلوم الاقتصادية والإدارية، العدد23.

[7]- هبة محمود عبدالله،2012، مدى الالتزام بمنهج سيجما ستة في ضبط جودة التدقيق الداخلي، رسالة لنيل درجة الماجستير في المحاسبة والتمويل، الجامعة الإسلامية غزة.

[8]- Kunal Ganguly, 2012, Improvement Process for Rolling Mill Through The DMAIC Six Sigma Approach, International Journal for Quality research, volume 6.

[9]- بسام زاهر، 2014، تقييم واقع توافر متطلبات تطبيق منهجية ستة سيجما في المنظمات الصناعية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدارسات العلمية، سلسلة العلوم الاقتصادية والقانونية، المجلد 36/ العدد 2.

[10]- باسل العسس، 2014، تطبيق منهجية الستة سيجما في شركات صناعة الأدوية السورية، رسالة لنيل درجة الماجستير في إدارة الجودة، الجامعة الافتراضية السورية.

[11]- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V. and Lim, M. K., 2014, A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process, International Journal of Lean Six Sigma, volume 5 (1).

[12]- A. Sujova, L. Simanova, K. Marcinekova, 2016, Sustainable Process Performance by Application of Six Sigma Concepts: The Research Study of Two Industrial Cases, Sustainability, volume 8 (3).

[13]- أحمد فهيم البربري، 2017، تحقيق التصنيع الأخضر بصالات الحياكة لمصانع الملابس الجاهزة المتوسطة باستخدام Lean Six Sigma سيجما، مجلة العمارة والفنون، العدد العاشر.

[14]- Iris Bento da Silva, Moacir Godinho Filho, Oswaldo Luiz Agostinho, Orlando Fontes Lima Junior, 2017, A new Lean Six Sigma framework for improving competitiveness, Acta Scientiarum. Technology, volume 41, 2019.

[15]- N. Venkatsh,C. Sumangala, 2017, Success of manufacturing industries – Role of Six Sigma, MATEC Web of Conferences 144, 05002 (2018).

[16]- سميحة سميح الناظر، 2017، مدى إمكانية تطبيق منهج ستة سيجما (Six Sigma في شركات تصنيع المواد الغذائية الكبرى في الضفة الغربية)، رسالة ماجستير، جامعة الخليل فلسطين.

[17]- Michał Zasadzień, 2017, Application of the Six Sigma Method for Improving Maintenance Processes – Case Study, International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, volume 6.

[18]- Pallawi B Sangode, Himanshu R Hedaoo, 2018, Six Sigma in Manufacturing Industries, Amity Journal of Operations Management, volume3(1).

[19]- عباس فاضل سلطان، 2019، ستة سيجما الرشيقة ودورها في تحسين العملية التصنيعية، مجلة مركز دراسات الكوفة، العدد53.

[20]- باسل خليل، 2020، تخفيض العيوب في منتج البطاطا المفرزة باستخدام منهجية الستة سيجما، رسالة لنيل درجة ماجستير التأهيل والتخصص في الجودة، الجامعة الافتراضية السورية.

[21]- مسعودة شنيتي، زكية جيجيق، ريمة طرشون، 2020، أثر تطبيق منهجية الستة سيجما على رأس المال البشرى، مذكرة مقدمة الاستكمال متطلبات شهادة ماستر أكاديمي، جامعة محمد بشير الإبراهيمي الجزائر.

[22]- H. Kartika, D. Norita, N. E. Triana, I. Roswandi, A. Rahim, A.Naro, T. Izzati, A. A. Munita, D. Junaedi, W. Suprihatiningsih, A. Purwanto, C. Bakti, 2020, Six Sigma Benefit for Indonesian Pharmaceutical Industries Performance: A Quantitative Methods Approach, A multifaceted review journal in the field of pharmacy, volume 11.

[23]- مرعي ضو، مفتاح الحمروني، 2021، مدى توفر متطلبات تطبيق منهجية ستة سيجما ودورها في ترشيد تكاليف الإنتاج على مصنع الأعلاف القره بوللي، المجلة العلمية لكلية الاقتصاد والتجارة القره بوللي، العدد 4.

[24]- عمر شنب، عبد الرحمن النعيري، فراس دبك، 2022، دراسة إمكانية تطبيق منهجية ستة سيجما في المجمع الاستثماري لمواد البناء بمصراتة، مجلة البحوث الأكاديمية والتطبيقية، العدد 23.

[25]- محمد عبد المنعم إبراهيم، 2019، استخدام منهجية الستة سيجما كمدخل للميزة التنافسية للصناعات الوطنية بالمملكة العربية السعودية، المجلة العلمية للاقتصاد والتجارة، العدد 137 .

[26]- منال الخالدي، 2020، منهجية سيجما ستة لتحسين العملية الإنتاجية وتطوير الأداء، رسالة مقدمة لنيل الإجازة العالية في إدارة المشاريع، الأكاديمية الليبية مصراتة.

[27]- محمد تيسير،2021، كيفية استخدام برنامج ميني تاب MINITAB، مؤسسة المجلة العربية للعلوم ونشر الأبحاث.