المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
ijeit.misuratau.edu.ly
IJEIT
جامعة مصراتة MISURATA UNIVERSITY

أثر استخدام نظرية الحيود السداسي (6 سيجما) في تحسين الإنتاجية على خط إنتاج العبوات البلاستيكية بمصنع الياقوت

أسامة بادي [1]*، محمد أبوزقية[2]، عثمان المدني[3] ، أحمد الصداعي[4]
[1] قسم الهندسة الصناعية والتصنيع، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا، Osama.badi@eng.misuratau.edu.ly
[2] قسم الهندسة الصناعية والتصنيع، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا، moha.alkeelo@gmail.com
[3] قسم الهندسة الصناعية والتصنيع، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا، othman.almadany98@gmail.com
[4] قسم الهندسة الصناعية والتصنيع، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا، essdai64@gmail.com
* المؤلف المراسل

تاريخ الورقة
استلمت الورقة بالكامل في: **01 نوفمبر 2025**
وروجعت في: **14 ديسمبر 2025**
وقبلت للنشر في: **19 ديسمبر 2025**
ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية:**19 ديسمبر2025**

DOI:
https://doi.org/10.36602/ijeit.v14i1.592

الكلمات المفتاحية
6 سيجما، العبوات البلاستيكية، منتج معيب، مستوى سيجما، التشكيل بالحقن

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى بيان دور تطبيق منهجية **ستة سيجما** (Six Sigma) في تحسين جودة العمليات الإنتاجية في صناعة العبوات البلاستيكية، التي تُعد من الصناعات الحيوية في ليبيا لارتباطها بتعبئة المنتجات الصناعية وانخفاض تكلفتها. وتسعى الدراسة إلى تقليل نسبة المنتجات المعيبة، وخفض الهدر، ورفع كفاءة الأداء التشغيلي، في ظل اعتماد المصانع بدرجة كبيرة على التشغيل الآلي دون منهجيات علمية للتحسين المستمر. تم تطبيق منهجية DMAIC على آلة الحقن في مصنع الياقوت للصناعات البلاستيكية، مع التركيز على تشخيص العيوب الأكثر تكرارًا وأسبابها الجذرية وقياس استدامة التحسين. واعتمدت الدراسة على المنهجين الوصفي والتجريبي، حيث جُمعت بيانات الإنتاج لمدة ستة أشهر، وتم تحليل نسب العيوب، وحساب مستوى سيجما، ودراسة علاقتها بظروف التشغيل، واستقرار التغذية الكهربائية، وبدايات التشغيل، والتدخل البشري. أظهرت النتائج أن متوسط مستوى سيجما بلغ 3.818، مما يعكس أداءً متوسطًا إلى جيد مع وجود فرص للتحسين. وتبيّن أن أبرز العيوب تمثلت في تشوّه ملصق العبوة وإطارها، ويرجع ذلك أساسًا إلى عدم استقرار التغذية الكهربائية وضعف الصيانة الوقائية. وبعد تطبيق المعالجات المقترحة، انخفضت نسبة المنتجات المعيبة بنسبة 27%، مما يؤكد فاعلية منهجية Six Sigma في تحسين جودة العملية الإنتاجية وتحقيق استقرار تشغيلي أفضل.

The effect of using six-sigma diffraction theory in improving productivity on the plastic containers production line at the Al-Yaqout factory

Osama Badi[1,*], Osama.badi@eng.misuratau.edu.ly, Mohamed Abozkaiia[2], moha.alkeelo@gmail.com, Othman ALmadani[3], othman.almadany98@gmail.com, Ahmed ELssdai[4], essdai64@gmail.com

[1,2,3,4]Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Misurata University, Misurata, Libya.

[*] Corresponding author

Abstract

This study examines the application of the Six Sigma methodology to improve production process quality in the plastic packaging industry, a vital sector in Libya due to its role in industrial packaging and cost efficiency. The research aims to reduce defect rates, minimize waste, and enhance operational performance in manufacturing environments that rely heavily on automated machinery without structured improvement frameworks. The DMAIC approach was applied to an injection molding machine at Al-Yaqout Plastic Industries Factory to identify recurring defects, analyze their root causes, and evaluate the sustainability of improvements. The study employed descriptive and experimental methods, collecting production data over six months. Defect rates were analyzed, the process sigma level was calculated, and defects were examined in relation to operating conditions, power supply stability, start-up phases, and human intervention. The results showed that the average process performance reached 3.818 sigma, indicating a moderate to good level with clear improvement potential. The most critical defects involved label distortion and container frame deformation, primarily caused by unstable power supply, inadequate preventive maintenance, and temperature fluctuations during start-up. After implementing corrective actions, the defect rate decreased by approximately 27%, confirming the effectiveness of Six Sigma in enhancing production quality and operational stability.

Index Terms

six sigma, plastic containers, defective product, sigma level, injection molding.

مقدمة

تُعد صناعة البلاستيك من الصناعات الأولى في ليبيا، وتظهر أهمية هذه الصناعة في اعتماد عديد المصانع على المنتجات البلاستيكية في تعليب منتجاتها بسبب انخفاض تكلفتها، وبما تتميز به من مواصفات جيدة في تعليب المنتج[1]، وظهرت في الثمانينات من القرن الماضي العديد من التقنيات الإدارية لتحسين العمليات الإنتاجية، وتم البدء بتطوير بعض أدوات نظم إدارة الجودة الشاملة، ومن أبرز هذه الأدوات هو نظام 6 سيجما (SIX SIGMA) للحصول على أفضل النتائج، والوصول إلى درجة عالية من الدقة، والجودة، وتخفيض الفاقد، وذلك باستخدام أدوات وأساليب إحصائية لتحقيق أقصى استفادة من الموارد[2]، ونظراً لأهمية استخدام تلك التقنيات العلمية في الحدّ من المشاكل والتغلب على العديد من الصعوبات التي تواجه المؤسسات الإنتاجية، ومنها وجود منتجات معيبة غير مطابقة لمواصفات المنتج في خط إنتاج العبوات البلاستيكية المصممة لتعبئة الدهانات، فقد تم تطبيق تقنية 6 سيجما على آلة لإنتاج العبوات البلاستيكية بمصنع الياقوت للصناعات البلاستيكية عن سنة 2023 لغرض تحسين جودة العملية الإنتاجية[3].

ويعتمد البحث المنهج الوصفي والتجريبي بمتابعة عيوب التشغيل المختلفة التي تحدث أثناء عمليات التشغيل في آلة الإنتاج باستخدام منهجية 6 سيجما لتحديد أسباب ظهور عيب المنتج في خط الإنتاج من خلال تقارير يومية تكتب بواسطة القائم بالفحص في آخر خط الإنتاج، بالإضافة إلى عيوب التشغيل الأخرى؛ وتحليل العيوب، وكيفية التحكم فيها عن طريق عمل تقارير يومية لبيان مدى كفاءة الآلة المستخدمة في خط الإنتاج[4].

الدراسات السابقة

1- أميرة درميش وآخرون، 2024، مجلة العلوم الطبيعية والتطبيقية Journal of Pure & Applied Sciences[5].

- المنهجية: تطبيق منهجية 6 سيجما لتحسين الإنتاجية وكشف العيوب.
- التركيز الرئيسي: تحليل أسباب العيوب (انخفاض إجهاد الخضوع) وتقديم توصيات لتحسين التبريد، وتنفيذ برامج تدريبية.
- طبيعة النتائج:
  - نتائج تشخيصية قصيرة المدى بعد تطبيق التحسينات.
  - التركيز على تحديد أسباب العيب الرئيسي وليس تقييم استدامة التحسين بعد تنفيذ التوصيات.

2- نظري محمد ياسين وآخرون (2024) مجلة الامتياز لبحوث الاقتصاد والإدارة، العدد السابع[6].

- مجال التطبيق :مطاحن القمح – قطاع الصناعات الغذائية.
- المنهجية: تقييم الأداء باستخدام أدوات 6 سيجما عبر تحليل بيانات أوزان الإنتاج لمدة 20 يوماً.
- التركيز الرئيسي: الاستقرار الإحصائي للعملية الإنتاجية وقياس التباين.
  طبيعة النتائج:
  - الدراسة اعتمدت فترة زمنية قصيرة جداً (20 يوماً).
  - لم تتناول تغير أداء العملية عبر فترات مختلفة أو استدامة الاستقرار الإنتاجي.
  - لم تدمج بين التشغيل الآلي والتدخل البشري، بل كان التركيز على بيانات منتج واحد بفترة محدودة.

3- داليا زكي وآخرون (2020)، Journal of Environmental Studies and Researches[7].

- مجال التطبيق: صناعة الملابس – مراحل التشغيل.
- المنهجية: استخدام 6 سيجما لرصد العيوب الناتجة عن الماكينات والعمليات التشغيلية.
- التركيز الرئيسي: عيوب البقع والانساخ الناتجة عن سوء الصيانة.
  طبيعة النتائج:
  - تم التركيز على تأثير الصيانة على تقليل العيوب.
  - النتائج كانت مرتبطة بمرحلة زمنية محددة بعد الصيانة، دون متابعة طويلة الأمد.
  - العملية الإنتاجية كانت تعتمد على التشغيل اليدوي بشكل كبير، مما يختلف عن خطوط الحقن الآلية.

بالرغم من تعدد الدراسات التي تناولت تطبيق منهجية 6 سيجما في الصناعات المختلفة، إلا أن هذه الدراسة ركزت على الصناعات البلاستيكية، وعلى آلة الحقن لإنتاج عبوات بلاستيكية سعة 14 لتر، فبالتالي تختلف عن الصناعات السابقة (حديد، غذاء، نسيج) من حيث طبيعة العمليات، ونوعية العيوب، وتركيب الخط الإنتاجي، وطبيعة التشغيل، وكذلك:

- عمل الآلة بنظام وجبتين يومياً بشكل آلي، إضافة إلى تدخل بشري لاحق وهو (تركيب حزام الرفع).
- هذا المزيج بين التشغيل الآلي والتدخل البشري غير متناول في الدراسات السابقة المدروسة.

ومن منظور الزمن (الاستدامة):

- لم نطلع على دراسات سابقة تناولت استدامة نتائج 6 سيجما على مدى زمني طويل، أو عبر ظروف تشغيل مختلفة.
- جميع الدراسات ركّزت على نتائج فورية أو قصيرة المدى دون تقييم الأداء المستمر.

أما طبيعة العيوب محل الدراسة:

- فالعيوب في هذا البحث مرتبطة بعملية الحقن البلاستيكي، وهي تختلف جوهرياً عن عيوب المعادن، الدقيق، الملابس.
- وهذا يجعل البحث الحالي يعالج نوعاً من العمليات لم يتم تغطيته في الدراسات السابقة.

تعريف العملية الإنتاجية

هي عملية تحويل المواد الخام إلى مواد مذابة من أجل تشكيلها بالحقن في القالب المعد مسبقا، كما يمكن تغيير شكل المنتج عن طريق تغيير القالب الذي تتم به عملية التشكيل[8]، ويقوم العامل بوضع عدد الأغلفة حسب العدد المراد تغليفه، حيث تقوم الماكينة بعملية التغليف آليا، كما تم ملاحظة أن الماكينة تحتاج في عملية الإطفاء وإعادة التشغيل إلى 20 دقيقة لكي ترجع إلى العمل، حيث تمر الماكينة في عملية الإنتاج بثلاث مراحل هي: 1-مرحلة الحقن 2- مرحلة التشكيل 3- مرحلة التغليف.

آلة التشكيل بالحقن

تعرف أيضا باسم آلة حقن البلاستيك، ويتميز هذا النوع من الآلات بالإنتاجية العالية، وتتكون هذه الآلة من عدة أجزاء تعمل على صهر المادة الخام المراد تشكيلها، وضخ المصهور على القالب المراد التشكيل به، وتعتمد هذه الآلة في الحركة على النظام الهيدروليكي، وتحتاج أيضا إلى تيار كهربائي مستمر لتشغيل باقي الأجزاء التي تتحكم بها، والشكل (1) يوضح آلة حقن البلاستيك، أما الشكل رقم (2) فيوضح حجم وتصميم العبوة البلاستيكية في شكلها النهائي.

شكل (1) آلة حقن البلاستيك

شكل (2) عبوة المنتج

خصائص المنتج

الجدول رقم (1) التالي يبين لنا المواصفات التصميمية والإنتاجية المعتمدة للمنتج.

جدول (1) خصائص المنتج.

اسم المنتج	عبوة بلاستيكية
مادة التصنيع	البوليمر
الحجم	14 لتر
الوزن	550 جرام
التآكل	مقاوم للتآكل
درجة الحرارة	يتحمل حتى 50 درجة مئوية

منهجية 6 سيجما SIX SIGMA

عرفت 6 سيجما في عديد من المنظمات على أنها مقياس للجودة يجاهد من أجل الوصول إلى أفضل النتائج، ذلك أنها منهج منظم للحصول على البيانات واشتقاق تلك البيانات، وتهدف إلى تجنب العيوب في أي عملية من التصنيع إلى النقل ومن المنتج إلى الخدمة[9].

يتألف مصطلح 6 سيجما من جزئين؛ أولهما الحرف (σ) سيجما وهو حرف يوناني يستخدم للإشارة إلى الانحراف المعياري للبيانات؛ وتشتت البيانات عن وسطها الحسابي، وهذا يعني زيادة في كمية الخطأ، وبالتالي زيادة التلف في المنتج المطروح، أما الرقم (6) فيشير إلى عدد الانحرافات المعيارية "مستوى سيجما"، وكلما زاد المستوى دلّ على زيادة مستوى الجودة، وانخفاض نسبة العيوب في العدد المرافق لسيجما المنتج، والعكس صحيح[10].

وترجع 6 سيجما تاريخياً إلى عالم الإحصاء (CARL FRIDREK GAWS 1775) والذي قدم منهجية التوزيع الطبيعي، ذلك أن 6 سيجما هي مقياس للمعايرة في تغيرات المنتج، والتي ترجع أيضا إلى (WALTER SHEWHART 1920)، الذي أظهر أن ثلاثة سيجما من المتوسط هي النقطة الأساسية التي يتطلب عندها تصحيح العملية. والعديد من معايير القياس أتت مؤخراً بالتطور الطبيعي، وقد تم ابتكار مصطلح 6 سيجما من قبل مهندس شركة موتورولا والذي يدعى (BILL SMITH)، وقد تم اعتبار 6 سيجما كعلامة مسجلة لشركة موتورولا[9].

مراحل تطبيق منهجية ستة سيجما في صناعة العبوات البلاستيكية

تم تطبيق المنهج الأول لـ 6 سيجما (DMAIC) على خط إنتاج العبوات البلاستيكية في مصنع الياقوت لغرض تحسين العملية الإنتاجية، ويتكون هذا المنهج من المراحل الموضحة بالجدول (2)[11]:

جدول (2) مراحل منهجية 6 سيجما.

المرحلة	الوصف	الهدف	الأدوات
الأولى	التحديد	تحديد الظروف المحيطة بعملية التصنيع	الكشف والمعاينة
الثانية	القياس	قياس مستوى جودة العملية الإنتاجية	معادلة حساب مستوى سيجما
الثالثة	التحليل	تحديد الأسباب الدقيقة والأكثر احتمالاً لحدوث العيب	العصف الذهني وتحليل عظام السمكة
الرابعة	التحسين	اقتراح تطبيق المعالجات اللازمة لتقليل العيوب	جداول المتابعة والمعاينة

1- مرحلة التحديد

تم القيام بعدة زيارات للمصنع، ومقابلة مهندسي التشغيل، والوقوف على خط الإنتاج أثناء عملية التشغيل، وتبين وجود منتجات معيبة خلال عملية الإنتاج، وبعد القيام بمراقبة الآلة أثناء العمل والتعرف على المنتج المعيب تبين لنا وجود عيبين رئيسيين في العبوة وهما:

1- تشوه ملصق العبوة 2- تشوه إطار العبوة

ونسعى في هذه المرحلة إلى معرفة أسباب وجود هذين العيبين، والعمل على التقليل من نسبة المنتج المعيب على خط الإنتاج.

2- مرحلة القياس

تم جمع بيانات الإنتاج خلال ستة أشهر للآلة، كما هو موضحة بالجدول (3) لإجمالي الإنتاج لكل شهر، كما يوضح الشكل (3) تدرج إجمالي العبوات الصالحة، ويوضح الشكل (4) تدرج إجمالي العبوات المعيبة.

جدول (3) بيانات الإنتاج لكل للأشهر من (1-6).

الشهر	عدد الصالح (عبوة)	عدد المعيب (عبوة)	المجموع (عبوة)
شهر1	68633	599	69232
شهر2	149044	879	149923
شهر3	37473	178	37651
شهر4	72229	588	72817
شهر5	41155	805	41960
شهر6	66477	1025	67502

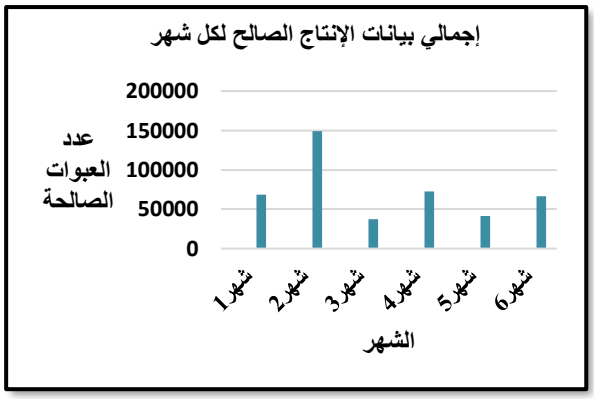
نسبة إنتاج المنتج المعيب

يتضح من الجداول محل الدراسة أن نسبة العيوب في كل شهر كانت كالتالي[12]:

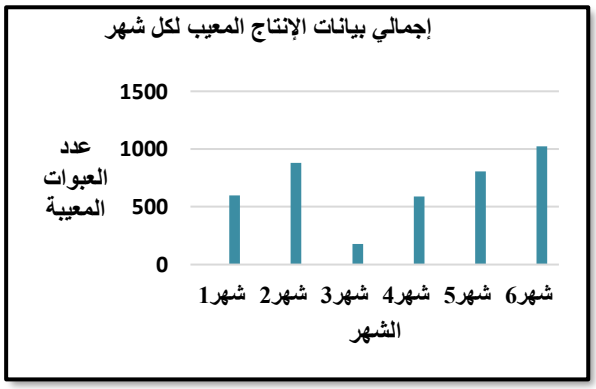
نسبة العيوب = (عدد المعيب)/(عدد الوحدات المنتجة) × 100

النسبة المئوية للمنتجات المعيبة لشهر 1 = (599\69232) * 100 = %0.865

وهكذا يتم حساب النسبة المئوية للمنتجات المعيبة لباقي الأشهر كما في الجدول (4) للنسبة المئوية للمنتجات المعيبة، والشكل (5) يوضح نسبة المنتجات المقبولة لكل مستوى.



شكل (3) تدريج إجمالي العبوات الصالحة.

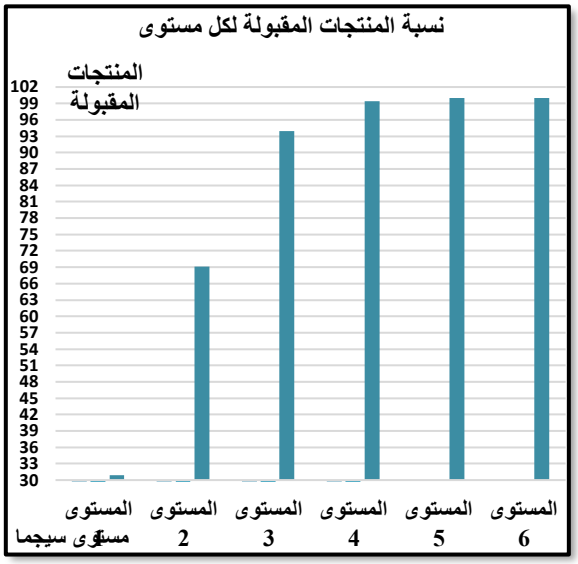


شكل (4) تدريج إجمالي العبوات المعيبة.

جدول (4) النسبة المئوية للمنتجات المعيبة.

الشهر	النسبة المئوية للمنتجات المعيبة (%)
1	0.865
2	0.586
3	0.473
4	0.814
5	1.918
6	1.518
الإجمالي	0.931

يتضح من الجدول (4) أن أقل نسبة عيوب كانت في شهر (3) بنسبة (0.473)%، وأن أعلى نسبة عيوب كانت في شهر (5) (1.918)%، مما يشير لاحتمال وجود مشكلة إنتاجية خلال هذا الشهر، وأن متوسط نسبة العيوب الكلية (0.931)%، وهو معدل جيد إذا كان المعيار المقبول للشركة أقل من 1%.



شكل (5) نسبة المنتجات المقبولة لكل مستوى.

حساب مستوى سيجما

وتظهر المستويات ونسبة الوحدات المقبولة فيها لكل مستوى في الجدول (5)[13]:

جدول رقم (5) مستويات سيجما ستة

نسبة الوحدات المقبولة	مستوى سيجما	العيوب / مليون وحدة
30.9	σ 1	690000
69.1	σ 2	308537
93.3	σ 3	66807
99.4	σ 4	6120
99.98	σ 5	233
99.99966	σ 6	3.4

كما يمكن حساب مستوى سيجما بالقانون التالي[14]:

$$\sigma_{Level} = 0.8046 + \sqrt{29.37 - 2.22 \ln(DPMO)} \longrightarrow (1)$$

حيث أن DPMO هي اختصار لعبارة Defects Per Millions Opportunities أي أنها عدد فرص ظهور العيوب من أصل مليون فرصة ممكنة، وتحسب قيمة DBMO كالتالي[15]:

العيوب لكل فرصة = (عدد القطع المرفوضة)/(عدد الوحدات المنتجة)

العيوب لكل مليون فرصة = العيوب لكل فرصة × 1000000

مستوى سيجما لشهر 1:

عدد العيوب لكل مليون فرصة ممكنة = 8652.068

بعد استخدام القانون يكون مستوى سيجما = 3.845

وتم تجميع البيانات، وحساب مستوى 6 سيجما لكل شهر كما في الجدول (6).

3- مرحلة التحليل

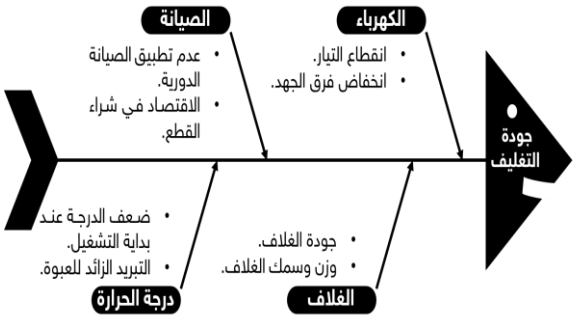
بعد الاطلاع على عيوب العبوات وتصنيفها، تبين وجود عيوب متكررة في المنتج، ولذلك ينبغي في البداية التركيز على تقليل العيوب التي لها علاقة بعملية تغليف المنتج أولاً، ثم القيام بحل بقية المشاكل التي تواجه عملية الإنتاج[16].

جدول (6) مستويات 6 سيجما لكل شهر.

الشهر	مستويات سيجما σ
1	3.845
2	3.984
3	4.058
4	3.867
5	3.539
6	3.632
الإجمالي	3.818

فالتقييم العام للعملية نلاحظ أن مستوى 6 سيقما الشهري يتراوح تقريباً بين (3.5 - 4.2)، وهذا يعكس أن العملية تعمل في نطاق أداء متوسط – جيد (Moderate Performance) ، وهو أعلى من الأداء التقليدي، ولكنه بعيد كثيرًا عن مستوى Six Sigma الحقيقي، لذلك تحتاج تحسينات منهجية للوصول إلى مستويات أعلى من الجودة.

تحليل للعيب الأول (تشوه الملصق)

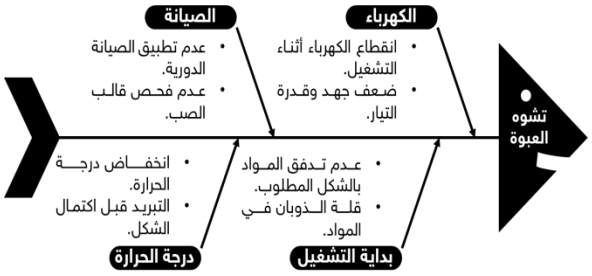


شكل (6) مخطط السمكة للعيب الأول.

جدول (7) الأسباب المحتملة للعيب الأول.

ت	العطل المحتمل	الأسباب
1	الكهرباء	- انقطاع التيار الكهربائي - انخفاض فرق الجهد في التيار
2	الصيانة	- عدم القيام بالصيانة الدورية - قطع غيار منخفضة الجودة
3	الغلاف	- وزن وسمك الغلاف - مادة الغلاف
4	درجة الحرارة	- ضعف الدرجة عند بداية التشغيل - التبريد الزائد للعبوة

تحليل العيب الثاني (تشوه إطار العبوة)



شكل (7) مخطط السمكة للعيب الثاني.

جدول (8) الأسباب المحتملة للعيب الثاني.

ت	العطل المحتمل	الأسباب
1	بداية التشغيل	- عدم تدفق المواد الصحيح - قلة الذوبان في المواد
2	الصيانة	- عدم القيام بالصيانة الدورية - عدم فحص قالب الصب
3	درجة الحرارة	- انخفاض درجة الحرارة - التبريد قبل اكتمال شكل العبوة
4	الكهرباء	- انقطاع التيار الكهربائي - ضعف جهد وقدرة التيار

من الملاحظ أن عند انقطاع الكهرباء أثناء تشغيل الآلات يؤدي إلى توقف مفاجئ للعمليات، فيسبب في عدم اكتمال دورة التشغيل، وحدوث تشوهات نتيجة للتوقف المفاجئ في أنظمة الضغط، أو النفخ، أو التسخين، وينتج عنه تشغيل غير مستقر للآلة بعد رجوع الكهرباء، فيتوقف التسخين فجأة، وتهبط درجة الحرارة عن الحدود المطلوبة، مما يؤثر على جودة الإغلاق، أو التشكيل، أو اللحام، ويبقى المنتج في حالة غير مكتملة، كما أن إعادة التشغيل تتطلب وقتًا لإعادة استقرار الحرارة، والضغط، والسرعة، مما يزيد من احتمالات حدوث العيوب في الدقائق الأولى بعد التشغيل.

كما أن انخفاض الجهد عن القيمة المطلوبة يؤدي إلى ضعف أداء المحركات، وتباطؤ عملية التشغيل، واحتمالية حدوث أخطاء في أنظمة التحكم الإلكترونية (PLC) ، كما يؤثر انخفاض الجهد على الدقة في الحساسات ووحدات التحكم؛ وتغيّر في زمن التشغيل، أو التبريد، أو السحب، مما ينتج عنه عيوب في المنتج. وبالتالي كل هذه العوامل تنعكس مباشرة على جودة المنتج وتزيد من احتمالات حدوث عيوب في بداية التشغيل أو أثناء العملية.

4- مرحلة التحسين والمعالجة

بعد ما تم تحديد وقت حدوث كل عيب (بداية التشغيل – أثناء التشغيل – نهاية التشغيل)، وتسجيل الأعطال الكهربائية (انقطاع، انخفاض جهد، تذبذب)، وتحديد العلاقة بين العطل والمنتج النهائـي، اقترحنا (كما في الجدول (9)) مجموعة من المعالجات للأسباب التي تؤدي إلى حدوث العيوب في المنتج بهدف معرفة المشكلة بدقة، وقياس أثر التحسين لاحقاً.

جدول (9) العيوب والأسباب وطريقة المعالج.

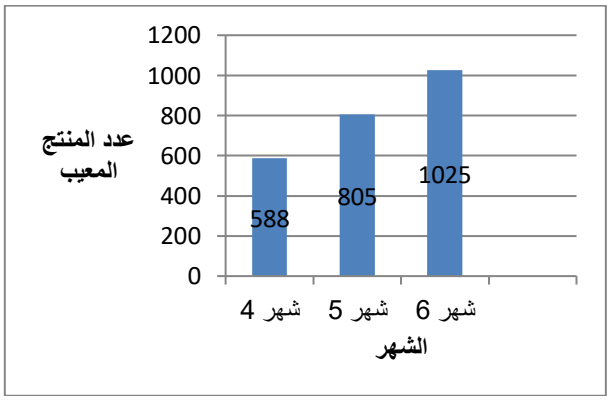
العيب	السبب	المصدر	الأثر	المعالجة
1- تشوه الملصق.	بداية التشغيل	الآلـة	عدم اكتمال الذوبان بشكل كامل	-تقليل المدى الزمني لبدايات التشغيل قدر الإمكان. -الانتظار حتى وصول الآلة لحالة الاستقرار وثبات درجة الحرارة. -عدم تغذية الآلة بالمادة الخام قبل وصولها إلى درجة الحرارة المطلوبة.
	درجة الحرارة	منظم عملية التسخين في الآلة	لدونة غير كاملة للمادة الخام	-الانتظار حتى وصول القالب إلى درجة الحرارة التي يتطلبها المنتج. -تثبيت درجة الحرارة المناسبة لعمل القالب.
	الصيانة	عدم وجود خطة وجدولة متبعة من قبل إدارة الصيانة	حدوث أعطال متكررة ومفاجئة	-وضع تخطيط وجدولة مسبقة لعمليات الصيانة. -الكشف بشكل دوري على جميع أجزاء الآلة. -استخدام قطع غيار ذات جودة عالية.
2- تشوه إطار العبوة.	الكهرباء	الشبكة العامة المزودة للطاقة الكهربائية ومولدات الكهرباء البديلة	توقف الآلة وتعطل خط الإنتاج	-استخدام محولات ومنظمات لفرق الجهد للخطوط المزودة للكهرباء. -توفير مصدر كهرباء بديل ثابت ومستقر. -التشغيل في غير أوقات ذروة استعمال الشبكة الكهربائية.
	الغلاف	خامة الغلاف المستخدم	التصاق غير منتظم ومتداخل	- استخدام الأغلفة ذات الجودة العالية. - التأكيد على استخدام مواصفات لخامة الغلاف تتناسب مع الآلة. - ضبط روبوت الآلة بما يتناسب مع وزن وسمك الغلاف المستخدم.

5- مرحلة الرقابة

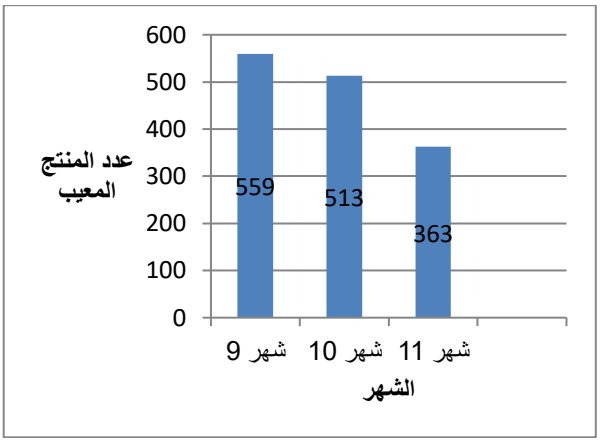
وبعد تحديد أهم المشاكل الرئيسية في العملية الإنتاجية وتعرفيها، وقياس نسبتها، وتحديد مستوى سيجما للمصنع والذي كان بحدود 3.818 تقريبًا، ومن ثم اقتراح خطوات المعالجة والتحسين في مراحل العملية الإنتاجية، تم التنسيق مع إدارة المصنع والمهندسين المشغلين على تطبيق خطوات المعالجة المقترحة، ومن ثم مراقبة وتتبع مطابقة المنتجات بالمواصفات المطلوبة، وذلك بحصر أعداد المنتجات المعيبة في كل وردية ولمدة 3 أشهر تالية لآخر 3 أشهر للدراسة، فكانت كما في الجدول رقم (10) كالتالي:

جدول (10) مقارنة المنتج المعيب

آخر 3 أشهر الدراسة	الشهر	4	5	6	متوسط نسبة المعيب
	عدد الصالح (عبوة)	72229	41155	66477	
	عدد المعيب (عبوة)	588	805	1025	
	المجموع (عبوة)	72817	41960	67502	
	نسبة المعيب %	0.808	1.99	1.52	1.440
3 أشهر تالية لأشهر الدراسة	الشهر	9	10	11	متوسط نسبة المعيب
	عدد الصالح (عبوة)	49685	68593	57493	
	عدد المعيب (عبوة)	559	513	363	
	المجموع (عبوة)	50244	69106	57816	
	نسبة المعيب %	1.112	0.742	0.627	0.827



شكل (8) أعداد المنتج المعيب للأشهر 4،5،6



شكل (9) أعداد المنتج المعيب للأشهر 9،10،11

وبمقارنة أعداد المنتج المعيب في الأشهر (9،10،11) بأعداد المنتج المعيب في الأشهر (4،5،6) كما في الشكلين رقم (8) ، (9) لاحظنا انخفاضاً في مجموع أعداد المنتج المعيب بعد تطبيق المعالجات والتحسينات المقترحة، وبنسبة تصل إلى حوالي 27%، ما يعني أهمية استخدام نظرية 6 سيجما في تحسين الإنتاجية.

الاستنتاجات

من خلال نتائج الدراسة والزيارات الميدانية للمصنع، ومراقبة خط الإنتاج، ومناقشة فنيي الإنتاج، اتضح لنا أن المصنع يعتمد اعتماداً كلياً على كفاءة وأداء الآلات المستخدمة، دون النظر إلى بعض التحسينات التشغيلية قبل وأثناء العملية الإنتاجية، ونلخص ما استنتجناه في التالي:

1. اعتماد المصنع على كفاءة اللآلات فقط دون تحسينات تشغيلية قبل وأثناء العملية الإنتاجية أدى إلى ظهور عيوب كان بالإمكان تجنّبها من خلال إجراءات تنظيمية وفنية بسيطة.
2. وجود مهندس واحد مسؤول عن التخطيط والتشغيل تسبب في ضعف توزيع المهام، وغياب الرقابة التشغيلية الفعّالة، ما انعكس على جودة الإنتاج واستقرار الخط.
3. غياب إدارة صيانة متخصصة، ونظام صيانة وقائية أسهم بشكل مباشر في زيادة التوقفات المفاجئة، وارتفاع معدلات المنتج المعيب.
4. أثبت تحليل العيوب أن عيبَي تشوّه الملصق، وتشوه إطار العبوة هما الأكثر تأثيراً، ما استدعى التركيز عليهما بوصفهما المدخل الرئيس لخفض الهدر وتحسين الجودة.
5. أظهر حساب مستوى سيجما قرب العملية من المستوى الرابع، ما يؤكد قابلية تحسين الأداء، وفعالية تطبيق منهجية Six Sigma في بيئة المصنع.
6. كشفت دراسة مخطط السبب والأثر أن غالبية مسببات العيوب يمكن التحكم بها من خلال ضبط ظروف التشغيل، وممارسات العمل داخل خط الإنتاج.
7. تغير مواصفات الملصقات وضعف استقرار التغذية الكهربائية (انقطاع التيار وانخفاض الجهد) كانا عاملين مؤثرين في ارتفاع العيوب، لارتباطهما المباشر باستقرار الآلة وجودة التغليف.
8. انخفاض حرارة القالب عند بدايات التشغيل أدى إلى منتجات غير مطابقة، ما يُبرز أهمية إدارة ظروف التشغيل الحرارية قبل البدء الفعلي للعملية.
9. في الجانب التطبيقي، أظهرت المقارنة بين فترة ما قبل التحسين وما بعدها انخفاضاً يقارب 27% في نسبة المنتج المعيب، مما يؤكد نجاح تطبيق منهجية Six Sigma ودورها الفعّال في تحسين جودة العملية الإنتاجية.

التوصيات

1. تبني تطبيق الإدارة العليا للمصنع لنظام 6 سيجما Six (Sigma) ومراجعته من حين لآخر للوصول لأفضل جودة إنتاج ممكنة، ولزيادة التحسين والتطوير المستمر على العملية الإنتاجية.

2. وضع خطة علمية وعملية لجدولة الصيانة لتفادي مشاكل التوقفات المفاجئة في خط الإنتاج.
3. تحديد مواصفات المواد الخام لمادة البلاستيك، والمواصفات الخاصة بالملصق المستخدم لعملية التغليف الملائمة لنوعية وظروف تشغيل الآلة المستخدمة.
4. توزيع مهام التشغيل والإنتاج على عدد كافي من المهندسين والفنيين والمشغلين.
5. تأمين مصدر مستمر ومستقر للتيار الكهربائي اللازم لتشغيل الماكينة.
6. الاطلاع على البرنامج المطور لهذا النظام وهو (Lean Six Sigma) للاستفادة منه في زيادة تحسين العملية الإنتاجية.

الخاتمة

في ختام الورقة البحثية، يتضح بأن تطبيق منهجية 6 سيجما (Six Sigma) على خط إنتاج العبوات البلاستيكية كانت أداة فعالة قابلة للتطبيق في بيئات صناعية متنوعة، خاصة في الصناعات التي تتطلب دقة وجودة عالية نحو تحسين الإنتاجية من خلال التركيز على تقليل التباين، وتقليل نسبة المنتجات المعيبة لتحسين جودة العمليات؛ فأثبتت هذه المنهجية قدرتها على تعزيز الكفاءة التشغيلية، وخفض التكاليف المرتبطة بالهدر وإعادة التصنيع، فساهمت في تقليل المنتج المعيب بنسبة تصل إلى نسبة 27%، وبالتالي تحسين جودة الإنتاج. كما أظهرت نتائج الدراسة أن استخدام أدوات سيجما 6 (Six Sigma) ساهم بشكل كبير في تحديد نقاط الضعف في العملية الإنتاجية ومعالجتها بشكل منهجي. ولذلك من المهم أن تستمر المؤسسات في تبني هذا المنهج وتطويره بما يتناسب مع متغيرات السوق والتكنولوجيا، ولضمان التميز التنافسي والاستدامة الإنتاجية. وبناءً على ذلك؛ فقد أوصت الدراسة بأهمية بتطبيق منهجية 6 سيجما بشكل مستمر وعلى فترات زمنية مختلفة، واختيار المواصفات الملائمة للمواد الخام، وكذلك توزيع المهام على المشغلين والعمّال؛ لضمان تحقيق أداء أفضل. كما ننصح بالعمل على الاستفادة من التقنيات الحديثة مثل Lean Six Sigma لتحسين الكفاءة بشكل مستدام.

المراجع

[1] محمد إسماعيل عمر، 2011، موسوعة خامات البلاستيك، قسم العلوم التطبيقية، دار الكتب العلمية، بيروت.

[2] Thomas Pyzdek Paul A. Keller, 2020,The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels, 5th Edition, McGraw-Hill Education.

[3] John Wiley & Sons , 2003, IMPLEMENTIN SIX SIGMA , Hoboken University , New Jersey.

[4] عبد الرحمن توفيق،2008، 6 سيجما ومصفوفة الأداء المتوازن لمن ينشد الأداء الأمثل، مركز الخبرات المهنية للإدارة، مكتبة الاستقلال، الطبعة الأولى، القاهرة.

[5] أحمد عبد الرحمن غنيم،2011، دليل الجودة، محاضرات دبلوم إدارة الجودة والاعتماد ، مصر، جامعة عين الشمس.

[6] أحمد مصطفى العلنجاوي،2015، مفهوم إدارة الجودة الشاملة وأهميته، مقالات لمجلة الزمان تصدر بطبعات دولية، العراق بغداد.

[7] أميرة درميش وآخرون، 2024، مجلة العلوم الطبيعية والتطبيقية Journal of Pure & Applied Sciences؛ رسالة ماجستير.

[8] نظري محمد ياسين، وآخرون، 2024، مجلة الامتياز لبحوث الاقتصاد والإدارة، العدد السابع.

[9] داليا زكي، وآخرون، 2020، Journal of Environmental Studies and Researches.

[10] أليكس ويكس، 2000، ترجمة؛ دار الفاروق للاستثمارات الثقافية، طرق تشكيل البلاستيك، قسم صناعات المطاط والبلاستيك والألياف الزجاجية.

[11] هاري مايكل، وآخرون، 2004، ترجمة؛ أحمد صالح، Six Sigma منتهى الدقة ، مركز الخبرات المهنية للإدارة، مصر.

[12] بنيلوب بيرزيكوب، 2007، ترجمة؛ محمد يوسف، دليل المدير للإشراف على مشروعات وفرق سيجما ستة، قسم الإدارة بجامعة الملك فهد، السعودية.

[13] S. K. Bhat, 2021,"Six Sigma for Manufacturing Excellence: A Green Belt Guide", Wiley.

[14] Michael L. George, 2021,"Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions", McGraw-Hill Education,2nd Edition.

[15] MALA MARGABAN, 1999, QUALITY IMPROVEMENT THE SIX SIGMA WAY.

[16] Chiyoda-ku, 2003, SIX SIGMA FOR QUALITY AND PRODUCTIVITY PROMOTION, Asian University , Tokyo.