Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (38), (Dec, 2025)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (10) العدد 38 ديسمبر 2025
ردمد: 3014-6266

تقييم التعرض للسيليكا الكريستالين وتأثيراته الصحية في صناعة الإسمنت: تطبيق منهجية Six Sigma لتحسين سلامة العمال

الصادق مصطفى بالرزق **محمد احمد حديدان**
المعهد العالي للعلوم والتقنية – الخمس، ليبيا

تاريخ الاستلام:2025/12/4 –تاريخ المراجعة: 2025/12/7– تاريخ القبول: 2025/12/13– تاريخ للنشر : 2025 /12/17

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت وتحليل تأثيراته الصحية على العمال، مع تطبيق منهجية Six Sigma لتحسين سلامة العمال وتقليل التعرض لهذه المادة الخطرة. تركز الورقة على تحديد مصادر التعرض، تقييم المخاطر الصحية، وتقديم إطار عمل عملي لتقليل التعرض باستخدام Six Sigma. تم اعتماد منهجية مختلطة تشمل مراجعة الأدبيات، دراسة حالة، وتحليل البيانات الكمية والنوعية. تهدف النتائج إلى تقديم توصيات عملية لتحسين سلامة العمال في صناعة الإسمنت.

Abstract

This study aims to evaluate exposure to **crystalline silica** in the cement industry and to analyze its health effects on workers, while applying the **Six Sigma methodology** to improve occupational safety and reduce exposure to this hazardous substance. The paper focuses on identifying sources of exposure, assessing associated health risks, and proposing a practical framework to minimize exposure using Six Sigma. A mixed-methods approach was adopted, including a literature review, a case study, and both quantitative and qualitative data analysis. The findings aim to provide practical recommendations for enhancing worker safety in the cement industr

1. المقدمة

تعد صناعة الإسمنت من الصناعات عالية المخاطر بسبب التعرض للعديد من المواد الخطرة، أبرزها السيليكا الكريستالين (SiO_2). وفقًا لمنظمة الصحة العالمية (WHO, 2021)، يعد التعرض للسيليكا الكريستالين أحد الأسباب الرئيسية لأمراض الرئة المهنية، مثل السحار السيليسي (Silicosis) وسرطان الرئة. في هذا السياق، برزت منهجية Six Sigma كأداة فعالة لتحسين العمليات وتقليل المخاطر في مختلف الصناعات.

Six Sigma هي منهجية إحصائية تركز على تقليل التباين وتحسين الجودة من خلال تحديد الأسباب الجذرية للمشكلات (Harry & Schroeder, 2000). وقد تم تطبيقها بنجاح في صناعات مثل التصنيع والرعاية الصحية (Antony & Banuelas, 2002; Chen et al., 2021). ومع ذلك، هناك فجوة في الأدبيات حول تطبيق Six Sigma في تقييم التعرض للسيليكا الكريستالين وتحسين سلامة العمال في صناعة الإسمنت.

أهداف الدراسة:

تقييم مستويات التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت.

تحليل التأثيرات الصحية للتعرض للسيليكا الكريستالين على العمال.

تطبيق منهجية Six Sigma لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين وتحسين سلامة العمال.

التساؤلات البحثية:

1- ما هي مستويات التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت؟

2 – ما هي التأثيرات الصحية للتعرض للسيليكا الكريستالين على العمال؟

3 – كيف يمكن تطبيق منهجية Six Sigma لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين وتحسين سلامة العمال؟

2. مراجعة الأدبيات

2.1 السيليكا الكريستالين وتأثيراته الصحية

السيليكا الكريستالين هو مركب موجود بشكل طبيعي في العديد من المواد الخام المستخدمة في صناعة الإسمنت، مثل الحجر الجيري والطباشير. التعرض المستمر للسيليكا الكريستالين يؤدي إلى أمراض رئوية خطيرة، بما في ذلك السحار السيليسي وسرطان الرئة (ILO, 2020).

2.2 منهجية Six Sigma

Six Sigma هي منهجية إدارية تركز على تحسين الجودة وتقليل التباين في العمليات من خلال استخدام أدوات إحصائية وتقنيات منهجية (Harry & Schroeder, 2000). تعتمد على منهجية DMAIC (تحديد، قياس، تحليل، تحسين، ضبط) لتحقيق أهدافها (Pande et al., 2000).

2.3 الدراسات السابقة حول التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت

فيما يلي تحليل للدراسات السابقة ذات الصلة:

1- Wang et al. (2019): أظهرت هذه الدراسة أن مستويات التعرض للسيليكا الكريستالين في مصانع الإسمنت تتجاوز الحدود المسموح بها من قبل منظمة العمل الدولية (ILO) في 60% من الحالات.

2 - Gupta et al. (2018): ركزت هذه الدراسة على التأثيرات الصحية للتعرض للسيليكا الكريستالين، وأظهرت أن 30% من العمال يعانون من أعراض تنفسية مبكرة.

3 - Rao et al. (2017): طبقت هذه الدراسة منهجية Six Sigma لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت، وأظهرت انخفاضًا في مستويات التعرض بنسبة (40%).

4 - Singh & Kumar (2016): تناولت هذه الدراسة تقييم المخاطر الصحية للتعرض للسيليكا الكريستالين، وأشارت إلى أن العمال الذين يتعرضون لمستويات عالية معرضون لخطر الإصابة بالسحار السيليسي بمعدل 5 أضعاف.

5 - Jain et al. (2015): ركزت هذه الدراسة على تحسين إجراءات السلامة لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين، وأظهرت انخفاضًا في الحوادث المتعلقة بالتعرض بنسبة (25%)

6 - Khan et al. (2021): طبقت هذه الدراسة Six Sigma لتحسين عمليات التهوية في مصانع الإسمنت، مما أدى إلى انخفاض في مستويات السيليكا الكريستالين بنسبة (35%).

7 - Patel et al. (2020): استهدفت هذه الدراسة تحسين استخدام معدات الوقاية الشخصية لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين، وأظهرت زيادة في استخدام المعدات بنسبة (40%).

8 - Sharma et al. (2019): تناولت هذه الدراسة تأثير التدريب على سلامة العمال في تقليل التعرض للسيليكا الكريستالين، وأظهرت انخفاضًا في مستويات التعرض بنسبة (30%).

تحليل الدراسات السابقة:

توضح هذه الدراسات أن التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت يشكل خطرًا كبيرًا على صحة العمال. ومع ذلك، أظهرت تطبيقات Six Sigma فعالية في تقليل التعرض وتحسين سلامة العمال.

3. **الفرضيات البحثية**

3.1 الفرضيات الأساسية

H1: هناك علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين تطبيق Six Sigma وتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين في صناعة الإسمنت.

H2: يؤدي تقليل التعرض للسيليكا الكريستالين إلى تحسين المؤشرات الصحية للعمال في صناعة الإسمنت.

3.2 الفرضيات الفرعية

H1.1: يؤثر التزام القيادة الفعال بشكل مباشر على نجاح تطبيق Six Sigma في تقليل التعرض للسيليكا الكريستالين (Antony & Banuelas, 2002).

H1.2: يساهم التدريب الشامل على Six Sigma في تحسين ممارسات السلامة وتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين (George et al., 2005).

H1.3: يعد جمع البيانات الدقيقة وتحليلها أساسيين لتحديد مصادر التعرض وتطوير حلول فعالة (Pande et al., 2000).

4. المنهجية

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، حيث جُمعت البيانات من مصنع البرج لصناعة الإسمنت بمدينة زليتن، ليبيا، خلال شهر أبريل 2025، عبر استبيانات ومقابلات مع المسؤولين والعاملين. **حيث** اعتمدت الدراسة على منهجية مختلطة (كمية ونوعية) شملت:

مراجعة الأدبيات: تحليل الدراسات السابقة حول التعرض للسيليكا الكريستالين وتطبيق Six Sigma.

دراسة الحالة: تطبيق Six Sigma في مصنع إسمنت رائد، مع جمع البيانات عبر:

الاستبيانات: موزعة على 150 عاملًا لقياس تصوراتهم حول سلامة العمل.

5- تحليل البيانات:

التحليل الكمي: استخدام اختبارات إحصائية مثل تحليل الانحدار (Regression Analysis) واختبار الفرضيات (t-test).

التحليل النوعي: تحليل البيانات النصية من المقابلات باستخدام تحليل المحتوى (Content Analysis).

تم تحليل البيانات كمياً باستخدام تحليل الانحدار واختبار الفرضيات (t-test) في برنامج SPSS، ونوعياً باستخدام تحليل المحتوى.

6- نتائج البحث:

جدول (1) يبين الخصائص الديمغرافية للعينة

	البدائل	الليبيين	الأجانب	العينة الكلية
		%	%	%
المؤهل العلمي	لم يجب	21.74	0	13.16
	الثانوية ما دونها	0	6.667	2.632
	البكالوريس	78.26	73.33	76.32
	ماجستير	0	6.667	2.632
	اخري	0	13.33	5.263
الوظيفة الحالية في المصنع	لم يجب	30.43	0	18.42
	الإدارة العليا	4.35	6.667	5.263
	إدارة العمليات	4.35	26.67	13.16
	مهندس عمليات	4.35	0	2.632
	مراقبة الجودة	4.35	0	2.632
	الصيانة	43.48	40	42.11
	اخرى	8.7	0	5.263
مدة العمل في المصنع	لم يجب	26.09	0	15.79
	من 5 إلى 10 سنوات	0	13.33	5.263
	من 10 إلى 20 سنة	56.52	46.67	52.63
	أكثر من 20 سنة	17.39	40	26.32
جم أنتاج مصنع االإسمنت	لم يجب	30.43	0	18.42
	متوسط	13.04	20	15.79
	كبير	56.52	86.67	68.42

أظهرت نتائج الجدول (2) المتعلقة بالخصائص الديموغرافية للعينة الكلية أن غالبية المشاركين يحملون **شهادة البكالوريوس بنسبة (76.32 %)** ، وهي النسبة المهيمنة بين كل من الليبيين (78.26%) والأجانب (73.33%)، مما يشير إلى أن معظم العاملين يمتلكون تأهيلاً أكاديمياً جيداً يتناسب مع طبيعة العمل في مصانع الأسمنت. في المقابل، لوحظ أن نسبة من لم يجيبوا عن المؤهل العلمي بلغت (13.16%) من العينة الكلية، وجميعهم من الليبيين. وفيما يخص **الوظيفة الحالية في المصنع**، يتضح أن معظم أفراد العينة يعملون في **قسم الصيانة بنسبة(42.11 %)** ، تليها إدارة العمليات بنسبة (13.16%)، بينما بلغت نسبة العاملين في الإدارة العليا (5.26%) فقط. وبمقارنة الفئتين، يلاحظ أن الأجانب يتركزون أكثر في

إدارة العمليات(26.67 %) ، في حين يتركز الليبيون في **قسم الصيانة(43.48 %)** ، وهو ما يعكس توزيعاً وظيفياً قد يرتبط بالاختصاص والخبرة الفنية لكل فئة. أما من حيث **مدة العمل في المصنع**، فإن أغلب العاملين في العينة الكلية تتراوح خبرتهم بين **10إلى 20 سنة (52.63 %)** ، وهي النسبة الأعلى لدى الليبيين (56.52%)، تليها فئة من لديهم أكثر من 20 سنة خبرة بنسبة (26.32%)، والتي كانت أكثر وضوحاً بين الأجانب (40%)، ما يشير إلى أن الأجانب يتمتعون بخبرة أطول نسبياً. وفيما يتعلق **بحجم إنتاج المصنع**، فقد أظهرت النتائج أن الغالبية من العينة ترى أن حجم الإنتاج **كبير بنسبة (68.42%)** ، وترتفع هذه النسبة بين الأجانب (86.67%) مقارنة بالليبيين (56.52%)، مما قد يعكس اختلافاً في تقييم مستوى الإنتاج تبعاً لمواقع العمل أو المعايير المرجعية لدى كل مجموعة.

بشكل عام، تشير هذه النتائج إلى أن العينة تتكون من أفراد ذوي تأهيل عالٍ وخبرة مهنية متوسطة إلى طويلة، مع بعض التباينات الواضحة بين الليبيين والأجانب في التوزيع الوظيفي وتقدير حجم الإنتاج.

جدول (2) يبينفهم سيجما وتأثيرها

		الليبيين %	الأجانب %	العينة الكلية %	قيمة كاي	مستوى المعنوية
يبين مستوى الدراية بمنهجية سيجما ستة	لم يجب	30.4	0	18.4	7.21	0.01
	نعم أنا على دراية بها	8.7	46.6	23.6		
	سمعت عنها ولكنني لست على دراية بها	26.1	26.6	26.3		
	لا، أنا لست عل دراية بها	34.7	26.6	31.5		
يبين قيام المصنع بتنفيذ سيجما ستة من قبل	نعم	4.35	53.3	23.6	1.01	0.89
	لا	56.5	46.6	52.6		
الأدوار التي قام بها أفراد العينة في لعبته تنفيذ سيجما ستة	لم يجب	56.5	0	34.2	11.12	0.05
	قائد الفريق	0	13.3	5.26		
	عضو في فريق الستة سيجما	0	20	7.89		
	مشارك خارج الفريق	4.4	26.6	13.2		
	لاشي مما سبق	39.1	33.3	36.8		
الأهداف الرئيسية لتنفيذ سيجما ستة في صناعة الأسمنت	تحسين جودة المنتج	52.2	73.3	60.5	10.07	0.07
	زيادة الانتاجية	21.7	73.33	42.1		
	تقليل الهدر الزائد	26.1	53.33	36.8		
	تعزيز استقرار العمليات	30.4	66.67	44.7		
	تحسين رضا العملاء	17.3	66.67	36.8		

	اخرى	13.1	0	7.89		
مساهمة سيجما في تحسين عمليات السلامة داخل المصنع	أوافق بشدة	13.1	40	23.6	2.70	0.44
	أوافق	34.7	46.6	39.4		
	محايد	17.39	13.33	15.7		
	لا أوافق	0	0	0		
	لا أوافق بشدة	4.35	0	2.63		

تبين نتائج الجدول (2) المتعلق بمستوى الدراية بسيجما ستة بوجود فروق دالة(Sig = 0.01) ، حيث غير الليبيين أكثر دراية بها. أما فيما يتعلق **تنفيذ سيجما ستة بوجود** فرق دال قوي(Sig = 0.001) ، حيث طبّقها غير الليبيين أكثر. أما فيما يتعلق بالأدوار **في تنفيذها وجد** فارق دال أيضًا(Sig = 0.001) ، حيث لعب غير الليبيين أدوارًا قيادية ومباشرة أكثر. وبالنسبة **لأهداف تطبيقها، فالبرغم** من عدم وجود دلالة قوية (Sig = 0.07) ، فإن غير الليبيين يُبرزون أهدافًا أكثر شمولًا (تحسين الجودة، الإنتاجية، رضا العملاء).، وأخيراً فيما يتعلق بمساهمة **سيجما في تحسين السلامة** فتبين عدم وجود فروق دالة (Sig = 0.44)، لكن تقييم غير الليبيين أعلى من الليبيين.

النتيجة النهائية للمحور الثاني: يعكس هذا المحور إدراكًا وتطبيقًا أعلى لمنهجية سيجما ستة لدى غير الليبيين مقارنة بالليبيين، مما يعزز أهمية التدريب والنقل المعرفي للعاملين المحليين.

المحور الثالث: العوامل المساهمة في نجاح سيجما ستة

جدول (3) يبين العوامل المساهمة في نجاح سيجما ستة

		الليبيين	الأجانب	العينة الكلية	قيمة كاي	مستوى المعنوية
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الأهمية النسبية		
عوامل نجاح تنفيذ سيجما ستة	الدعم الإداري	2.95	2.15	0.43	1.11	0.64
	تدريب الموظفين	3.49	2.38	0.48		
	التعاون بين الأقسام	1.3	1.69	0.34		
	مشاركة الموظفين	1.22	1.54	0.31		
	الموارد الكافية	2.55	2	0.4		
		%	%	%		
وجود عوامل مهمة لنجاح تنفيذ سيجما ستة في صناعة الإسمنت	نعم	34.78	53.33	42.11	0.42	0.83
	لا	30.43	40	34.21		

أظهرت نتائج الجدول (3) أن العينة الكلية ترى وجود عوامل أساسية تساهم في نجاح تنفيذ سيجما ستة في مصانع الأسمنت، إذ اتفق غالبية المشاركين على أهمية الدعم الإداري، وتدريب الموظفين، وتعاون الأقسام، ومشاركة العاملين، وتوفير الموارد الكافية بدرجات متفاوتة. بلغت النسبة العامة للمستجيبين الذين أكدوا وجود عوامل مهمة لنجاح سيجما ستة **(42.11 %)**، منهم **(34.78 %)من الليبيين** و**(53.33%) من الأجانب.**

ورغم هذا التفاوت الطفيف، فإن **قيمة كاي تربيع(0.42)** ومستوى المعنوية **(0.83)**يشيران إلى **عدم وجود فروق دالة إحصائياً** بين الفئتين، مما يعني اتفاقاً عاماً حول أهمية هذه العوامل لنجاح النظام.

المحور الرابع: التحديات والحواجز التي تواجه تنفيذ سيجما ستة

جدول (4) يبين التحديات والحواجز التي تواجه تنفيذ سيجما ستة

		الليبيين %	الأجانب %	العينة الكلية %	قيمة كاي	مستوى المعنوية
التحديات الحواجز التي تواجه تنفيذ سيجما ستة	مقاومة التغير من قبل الموظفين	26.1	13.3	21.5	1.4	0.7
	نقص الموارد البشرية أو المالية أو المادية	30.4	46.6	36.8		
	عدم كفاية التدريب أو التوجيه أو التوعية	52.7	53.3	52.6		
	صعوبة قياس الأداء من قبل الموظفين	17.9	40	26.3		
	عدم وجود دعم إداري بشكل عام	21.7	20	21. 5		
كيفية التغلب على التحديات الحواجز التي تواجه تنفيذ سيجما ستة	قيادة قوية فعالة والتزام إداري	8.7	73.33	34.21	10.4	0.03
	تدريب شامل للموظفين ،	8.7	66.67	31.58		
	تواصل فعال بين جميع الإدارات	17.39	86.67	44.74		
	تعاون بين جميع الأقسام	21.74	66.67	39.47		
	وضع أهداف واضحة	30.43	20	26.32		

يبين الجدول أن أبرز التحديات التي تواجه تطبيق سيجما ستة تمثلت في **نقص الموارد البشرية والمالية (36.8 %)** و**عدم كفاية التدريب والتوجيه (52.6 %)** ، وهما تحديان مشتركان بين الليبيين والأجانب. كما تبين أن **مقاومة التغيير من قبل الموظفين** تعد تحدياً أكثر بروزاً لدى الليبيين (26.1%) مقارنة بالأجانب.(13.3 %)

إلا أن اللافت هو الفروق الكبيرة في **قيادة قوية فعالة والتزام إداري**، إذ بلغت لدى الأجانب (73.33%)

مقابل (8.7%) لليبيين، مع قيمة **كاي = 10.4** ودلالة **(0.03)**، ما يشير إلى **فروق معنوية حقيقية** تؤكد أن الأجانب يدركون القيادة الإدارية كعامل حاسم في التنفيذ أكثر من الليبيين.

المحور الخامس: تأثير سيجما ستة على سلامة العمال

جدول (5) يبينتأثير سيجما ستة على سلامة العمال

		الليبيين %	الأجانب %	العينة الكلية %	قيمة كاي	مستوى المعنوية
مستوى كفاءة إجراءات السلامة الحالية في المصنع	ممتازة	21.74	6.667	15.79	22.73	0.00
	جيدة	34.78	46.67	39.47		
	مقبولة	8.7	20	13.16		
	تحتاج إلى تحسين	8.7	33.33	18.42		
	ضعيفة للغاية	100	0	60.53		
الاعتقاد بمساهمة تنفيذ سيجما ستة في تحسين عمليات السلامة داخل المصنع	نعم، بالتأكيد	30.43	80	50	5.95	0.11
	ربما	17.39	13.33	15.79		
	محايد	0	6.667	2.632		
	لا	0	0	0		
	لا اعرف	13.04	0	7.895		

يظهر الجدول أن تقييم كفاءة إجراءات السلامة جاء متفاوتاً، حيث صنفتها العينة الكلية بأنها **ممتازة بنسبة (15.79%)** و**جيدة (39.47 %)** ، مع فروق كبيرة بين الليبيين والأجانب؛ فقد صنف **الأجانب الإجراءات الجيدة بنسبة (46.67%)** مقابل **(34.78%) لليبيين**.

وقد أظهرت قيمة **كاي (22.73)** ودلالة **(0.00)** أن الفروق **دالة إحصائياً**، مما يدل على اختلاف حقيقي في إدراك جودة السلامة.

أما الاعتقاد بمساهمة سيجما ستة في تحسين السلامة فبلغ **(50%) للعينة الكلية**، وارتفعت النسبة بوضوح لدى الأجانب **(80 %)** مقارنة بالليبيين **(30.43%)**، رغم أن الدلالة الإحصائية (0.11) لم تصل إلى حد المعنوية.

المحور السادس : فهم طبيعة التعرض للسيليكا الكريستالين

جدول (6) يبين مدى فهم طبيعة التعرض للسيليكا الكريستالين

		الليبيين	الأجانب	العينة الكلية	قيمة كاي	مستوى المعنوية
		%	%	%		
مصادر السيليكا الكريستالين في بيئة العمل	المواد الخام	0	66.67	26.32	7.44	0.02
	الغبار	0	33.33	13.16		
	الانبعاثات	13.04	26.67	18.42		
فترة التعرض لغبار السيليكا الكريستالين نتيجة عملية طحن المواد الخام	يمثل أبدا	8.7	6.667	7.895	11.25	0.02
	يمثل قليلا	13.04	66.67	34.21		
	يمثل بشكل معتدل	47.83	13.33	34.21		
	يمثل بشكل كبيرا	0	6.667	2.632		
	يمثل التعرض المستمر	4.35	6.667	5.263		
اجراءات السلامة التي للتقليل تعرضك	أقنعة التنفس	47.83	46.67	47.37		
	التهوية الجيد	21.74	26.67	23.68		
	التدريب الجيد	8.7	46.67	23.68		
مدى فعالية الإجراءات المتبعة لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين	على الإطلاق	8.7	13.33	10.53	2.07	0.72
	فعال إلى حد ما	26.09	46.67	34.21		
	غير فعال	13.04	6.667	10.53		
	فعال	17.39	26.67	21.05		
	فعال للغاية.	0	6.667	2.632		
الحاجة إلى تحسينات أو ممارسات إضافية لتقليل التعرض للسيليكاالكريستالين	نعم	34.78	46.67	39.47	0.36	0.54
	لا	21.74	46.67	31.58		

أوضحت النتائج أن أهم مصادر السيليكا وفق العينة الكلية هي **المواد الخام (26.32%)** و**الانبعاثات (18.42%)**وقد تفاوتت آراء الليبيين والأجانب بشكل واضح، إذ رأى **(66.67 %)من الأجانب** أن المواد الخام هي المصدر الرئيس مقابل (0%) من الليبيين، بفروق دالة إحصائياً **)كاي = 7.44، دلالة = 0.02).**

كما تبين اختلاف في تقدير **فترة التعرض لغبار السيليكا** أثناء العمل، حيث عدّها الأجانب تمثل تعرضاً قليلاً (66.67%) مقابل أن الليبيين رأوها معتدلة (47.83%)، مع دلالة إحصائية **.(0.02)**

أما الإجراءات الوقائية، فقد تركزت على **أقنعة التنفس(47.37 %)** ، دون فروق معنوية (كاي = 2.07، دلالة = 0.72)، مما يشير إلى اتفاق حول الوسائل المتبعة.

المحور السابع : تقييم المخاطر الصحية

جدول (7) يبينتقييم المخاطر الصحية

		الليبيين	الأجانب	العينة الكلية	قيمة كاي	مستوى المعنوية
		%	%	%		
الاعتقاد بالتعرض للمخاطر صحية بسبب التعرض للسيليكاالكريستالين	نعم	65.22	53.33	60.5	1.23	0.88
	لا	4.35	33.33	15.7		
المخاطر الصحية الناتجة من استنشاق جزيئات السيليكا الكريستالين الدقيقة	أمراض الجهاز التنفسي	65.22	46.67	57.8	4	0.26
	مشاكل في الجلد.	8.7	33.33	18.4		
	أمراض المناعة الذاتية	8.7	20	13.6		
	اخري	4.35	6.667	5.26		
الأعراض التي قد تشير إلى التعرض للسيليكا الكريستالين	ضيق في التنفس	34.78	53.33	42.11	2.18	0.72
	السعال المستمر	13.04	40	23.68		
	مشاكل في الجيوب الأنفية	8.7	13.33	10.53		
	ألم في الصدر .	17.39	13.33	15.79		
	الصداع في الرأس.	8.7	0	5.263		
التشخيص بأمراض مرتبطة باستنشاق جزيئات السيليكا الكريستالين	نعم	21.74	53.33	34.21	0.23	
	لا	34.78	33.33	34.21		

أظهرت نتائج الجدول (المحور السابع) أن غالبية المشاركين في العينة الكلية (60.5%) يعتقدون بوجود مخاطر صحية ناتجة عن التعرض للسيليكا الكريستالين، مع عدم وجود فروق معنوية بين الليبيين (65.22%) والأجانب (53.33%) وفقاً لقيمة كاي تربيع (1.23) ومستوى الدلالة (0.88)، مما يشير إلى اتفاق نسبي في إدراك المخاطر الصحية بين المجموعتين. وقد تبين أن أبرز المخاطر الصحية المدركة هي أمراض الجهاز التنفسي بنسبة (57.8%)، تلتها مشاكل الجلد (18.4%)، وهي نسب متقاربة بين الفئتين ولا ترقى لفروق معنوية دالة (كاي = 4، دلالة = 0.26).

أما الأعراض الأكثر شيوعاً لدى العاملين فتمثلت في ضيق التنفس (42.11%) والسعال المستمر %) (23.68، بينما كانت الأعراض الأخرى مثل مشاكل الجيوب الأنفية أو ألم الصدر أقل تكراراً، مع عدم وجود فروق معنوية بين الليبيين والأجانب (كاي = 2.18، دلالة = 0.72).كما أظهرت النتائج أن نسبة

من المشاركين (34.21%) أفادوا بتعرضهم الفعلي لأمراض يُعتقد أنها مرتبطة باستنشاق السيليكا، دون وجود فروق بين المجموعتين (كاي = 0.23، دلالة غير معنوية).
بشكل عام، تشير هذه النتائج إلى أن العاملين يدركون وجود مخاطر صحية محتملة من التعرض للسيليكا الكريستالين، إلا أن هذا الإدراك لا يختلف جوهرياً بين الليبيين والأجانب، ما يعكس وعياً عاماً مشتركاً بطبيعة الخطر الصحي.

المحور الثامن : تأثيرات السيليكا الكريستالين على الصحة بشكل عام .

جدول (8) يبينالاعتقاد أن التعرض للسيليكا الكريستالين يؤثر على الصحة

		الليبيين	الأجانب	العينة الكلية	قيمة كاي	مستوى المعنوية
		%	%	%		
تأثيرات السيليكا الكريستالين على الصحة بشكل عام	نعم	30.43	46.67	36.84	5.25	0.02
	لا	0	46.67	18.42		
التأثيرات الصحية التي قد تكون مرتبطة باستنشاق جزيئات السيليكا الكريستالين	التعب والأرهاق	43.48	46.67	44.74	2.91	0.4
	الصداع المستمر	30.43	40	34.21		
	مشاكل الجهاز الهضمي	8.7	40	21.05		
	أخري	4.35	6.667	5.263		
التأثيرات على الصحة العقلية أو المزاج	نعم	13.04	6.667	10.53	0.38	0.71
	لا	60.87	86.67	71.05		
الاعتقاد أن التعرض للسيليكا الكريستالين يؤثر على الأداء في العمل	نعم	52.17	26.67	42.11	10.4	0.01
	لا	4.35	60	26.32		
القيام بتغييرات جذرية لتحسين الصحة الجسدية والنفسية بشكل عام	نعم	30.43	20	26.32	1.67	0.19
	لا	39.13	73.33	52.63		

تشير نتائج الجدول إلى أن (**36.84 %**)من العينة يعتقدون أن السيليكا تؤثر على الصحة، مع وجود **فروق دالة** بين الليبيين (30.43%) والأجانب (46.67 %) ، **كاي = 5.25، دلالة = 0.02**، مما يعني أن الأجانب أكثر وعياً بتأثيراتها.

أما التأثيرات الصحية الأكثر شيوعاً فكانت **التعب والإرهاق(44.74 %)** و**الصداع المستمر (% 34.21).**

وفيما يخص تأثير السيليكا على الأداء في العمل، فقد أظهرت النتائج فروقاً دالة) **كاي = 10.4، دلالة**

= **0.01** (لصالح الليبيين الذين أكدوا تأثيرها على الأداء بنسبة (52.17%) مقابل (26.67%) للأجانب.

المحور التاسع : ممارسات الوقاية والسلامة المهنية

جدول (9) يبين ممارسات الوقاية والسلامة المهنية

		الليبيين	الأجانب	العينة الكلية	قيمة كاي	مستوى المعنوية
		%	%	%		
الإجراءات الوقائية المتخذة في مكان العمل لتقليل التعرض للسيليكا الكريستالين	نعم	30.43	53.33	39.47	1.22	0.26
	لا	43.48	33.33	39.47		
قيام المصنع بتنفيذ مبادرات لتحسين الجودة في مجال السلامة المهنية في الماضي	نعم	47.83	66.67	55.26	2.11	0.14
	لا	26.09	93.33	52.63		
مدى فعالية الممارسات الوقائية في تقليل مخاطر التعرض للسيليكا الكريستالين	غير فعال أطلاقاً	21.74	13.33	18.42	4.68	0.19
	الى حد ما .	17.39	40	26.32		
	فعال	13.04	40	23.68		
	غير فعال	8.7	0	5.263		
	فعال للغاية.	0	0	0		
الشعور بالحاجة إلى تحسينات أو ممارسات إضافية لتقليل المخاطر الصحية المرتبطة بالسيليكا الكريستال	نعم	56.52	53.33	55.26	4.76	0.02
	لا	4.35	40	18.42		
الحاجة ألى تحسينات أو ممارسات إضافية لتقليل المخاطر الصحية المرتبطة بالسيلكا الكريستالين	نعم	47.83	40	44.74	3.21	0.07
	لا	17.39	53.33	31.58		

تشير نتائج الجدول (المحور التاسع) إلى أن نسبة (39.47%) من أفراد العينة أكدوا وجود إجراءات وقائية في أماكن العمل للحد من التعرض للسيليكا الكريستالين، دون فروق معنوية بين الليبيين (30.43%) والأجانب (53.33%)، وفقاً لقيمة كاي تربيع (1.22) ومستوى الدلالة (0.26)، مما يدل على تقارب في مستوى الإجراءات المتخذة في المصانع.

كما تبين أن نسبة (55.26%) من العينة ذكرت أن المصنع قام سابقاً بمبادرات لتحسين الجودة في مجال السلامة المهنية، وكانت النسبة أعلى لدى الأجانب (66.67%) مقارنة بالليبيين (47.83%)، إلا أن الفروق لم تكن معنوية (كاي = 2.11، دلالة = 0.14). وفيما يتعلق بمدى فعالية الممارسات الوقائية، فقد رأى (26.32%) من المشاركين أنها فعالة "إلى حد ما"، و(23.68%) بأنها فعالة، بينما أشار (18.42%) إلى أنها غير فعالة إطلاقاً، دون وجود فروق معنوية بين المجموعتين (كاي = 4.68، دلالة = 0.19).

أما بخصوص الحاجة إلى تحسينات إضافية، فقد أظهرت النتائج فروقاً دالة إحصائياً (كاي = 4.76، دلالة = 0.02)، حيث عبّر الليبيون بنسبة أعلى (56.52%) عن حاجتهم لتطوير إجراءات الوقاية مقارنة بالأجانب (53.33%)، مما يشير إلى إدراك أكبر لدى الليبيين بضرورة تعزيز ممارسات السلامة المهنية.

وبوجه عام، توضح النتائج أن مستوى تطبيق ممارسات الوقاية والسلامة في مصانع الأسمنت ما زال متوسطاً، وأن هناك وعياً واضحاً لدى العاملين – خاصة الليبيين – بأهمية تطوير هذه الممارسات للحد من المخاطر الصحية المرتبطة بالتعرض لغبار السيليكا الكريستالين

المحور العاشر : النتائج والفوائد المتوقعة .

جدول (10) يبين النتائج والفوائد المتوقعة من تطبيق سيجما ستة

		الليبيين	الأجانب	العينة الكلية	قيمة كاي	مستوى المعنوية
		%	%	%		
النتائج الإيجابية المتوقعة من تنفيذ سيجما ستة في مصنع الأسمنت	تحسين إجراءات سلامة العمال	52.17	73.33	60.53	1.55	0.67
	زيادة الإنتاجية	34.78	80	52.63		
	تقليل الاصابات بشكل عام	21.74	46.67	31.58		
	أخري يرجى تحديدها ..	0	6.667	2.632		
كيفية الحفاظ على النتائج الإيجابية لتنفيذ سيجما ستة على المدى الطويل	الاستمرار في التدريب والتعليم و التوجيه	60.87	53.33	57.89	3.34	0.34
	مراقبة الأداء وقياسه بانتظام	39.13	73.33	52.63		
	تعزيز ثقافة الجودة بشكل عام	21.74	33.33	26.32		
	ضمان التزام الإدارة العليا بواجباتها	43.48	60	50		

أوضحت النتائج أن أهم الفوائد المتوقعة من تطبيق سيجما ستة هي **تحسين إجراءات السلامة (60.53%)** و**زيادة الإنتاجية(52.63 %)** ، مع ميل الأجانب لتقدير الأثر الإيجابي بشكل أكبر.

كما رأى المشاركون أن الاستمرار في **التدريب والتعليم والتوجيه (57.89%)** هو العامل الأهم للحفاظ على هذه النتائج، دون فروق دالة إحصائياً (كاي = 3.34، دلالة = 0.34).

بذلك يمكن القول إن الجانبين يشتركان في تقدير الأثر الإيجابي للنظام، رغم اختلاف مستوى القناعة بفعاليته بين المجموعات.

النتائح والتوصيات:

نتائج المحور الأول: المعلومات الأساسية للمشاركين

الغالبية (39.47%) من المشاركين تتراوح أعمارهم بين 35–44 سنة، تليها الفئة العمرية 45–54 سنة (26.32%)، مما يشير إلى أن العينة ذات خبرة طويلة. (76.32 **%**) من العينة من حملة البكالوريوس، (42.11 **%**) يعملون في الصيانة، وهي أكثر الوظائف تعرضًا لغبار السيليكا. كما أن أكثر من نصف المشاركين (52.63%) لديهم خبرة من 10–20 سنة في العمل بالمصانع. (68.42 %) يعملون في مصانع ذات إنتاج كبير (63.16 %) أكدوا تنفيذ مبادرات سابقة لتحسين الجودة في السلامة.

المحور الثاني: الوعي بمنهجية سيجما ستة

- (31.5 %)من العينة لا يعرفون المنهجية، النسبة الأعلى بين الليبيين. (23.6 %) فقط أشاروا إلى تنفيذ سيجما ستة في مصانعهم.غير الليبيين أكثر مشاركة في تنفيذ سيجما، وأكثر قناعة بتأثيرها على السلامة (86.6% مقارنة بـ 47.8% من الليبيين).
- أهداف التنفيذ ركزت على: تحسين جودة المنتج، زيادة الإنتاجية، تقليل الهدر.
- العوامل الأكثر تأثيرًا من وجهة نظر الليبيين: الدعم الإداري، تدريب الموظفين، الموارد الكافية.
- أبرز التحديات: نقص التدريب (52.6%)، نقص الموارد (36.8%)، مقاومة التغيير %) .(21.5، غير الليبيين اقترحوا حلولًا أكثر تحديدًا مثل القيادة الفعالة والتواصل والتعاون.الليبيون أظهروا تحفظًا في تقديم حلول.
- (60.53%) من الليبيين يرون أن إجراءات السلامة "ضعيفة للغاية." (46.67 %) من غير الليبيين يرونها "جيدة."و (80 %) من غير الليبيين مقتنعون بتأثير سيجما ستة على تحسين السلامة مقابل (30.43%) من الليبيين فقط.
- الليبيون لم يحددوا مصادر السيليكا بشكل واضح، بخلاف غير الليبيين الذين أشاروا إلى المواد الخام والغبار.الغالبية من غير الليبيين أشاروا إلى تعرض "قليل أو معتدل"، بينما نسبة من الليبيين لم يعرفوا مدى تعرضهم بدقة.
- **التعليق العام على النتائج**
- تشير النتائج الإجمالية إلى أن **مستوى الوعي بأهمية تطبيق سيجما ستة في قطاع الأسمنت الليبي مرتفع نسبياً**، مع إدراك واضح للعوامل المساندة والتحديات والعوائد.

كما تبين أن **الأجانب أكثر ميلاً لتقدير فعالية الإدارة والتدريب والالتزام القيادي**، في حين أظهر **الليبيون وعياً أكبر بالتحديات الميدانية وتأثير السيليكا على الأداء.**

وبذلك يمكن القول إن تطبيق سيجما ستة في ليبيا **ما زال في مرحلة التطوير**، ويتطلب **تعزيز الدعم الإداري والتدريب الفني والتوعية الصحية** لضمان استدامة الأداء وتحسين بيئة العمل والسلامة المهنية في صناعة الأسمنت.

التوصيات:

- **الاستفادة من الخبرات المتراكمة** عبر إشراك العاملين المخضرمين في تقييم المخاطر وتخطيط مبادرات الصحة والسلامة.
- **تفعيل فرق الصيانة** لتكون نقطة تركيز لتطبيق أنظمة الحد من التعرض للسيليكا.
- **تعزيز مشاركة المصانع الكبيرة** في المبادرات الصحية، نظرًا لارتفاع احتمالات التعرض فيها.
- **الاستمرار في تنفيذ مبادرات السلامة** وتوسيعها لتشمل أدوات التحليل مثل سيجما ستة.
- **تنفيذ برامج تدريبية موجهة للعاملين الليبيين** لتعزيز وعيهم بمنهجية سيجما ستة.
- **تعزيز الشفافية والمشاركة** في مبادرات التحسين خاصة بين الإدارات والجنسيات المختلفة داخل المصنع.
- **اعتماد سيجما ستة كنظام متكامل** لتحسين السلامة والإنتاجية، وليس مجرد مبادرة عابرة.
- **توفير دعم إداري صريح وفعّال** لتطبيق سيجما ستة وتبنيه داخل الثقافة المؤسسية.
- **زيادة الاستثمارات في التدريب المستمر** والمتخصص في التحسين المستند إلى البيانات.
- **تعزيز التعاون بين الأقسام** من خلال إنشاء فرق مشتركة تُعنى بالتطوير والجودة.
- **إدماج العاملين في جميع المراحل** وليس فقط فرق الجودة أو المهندسين.
- **إنشاء قيادة مخصصة لتطبيق سيجما ستة** داخل كل مصنع، تتبع مباشرة للإدارة العليا.
- **تصميم حملات داخلية للتوعية والتثقيف** بهدف تقليل مقاومة التغيير.
- **تأمين الموارد البشرية والمادية والتقنية** اللازمة للتنفيذ الفعّال.
- **تفعيل التواصل الداخلي** بين الأقسام لضمان مشاركة جماعية.
- **تحسين إجراءات السلامة الحالية فورًا**، خاصة في المناطق التي أظهر المشاركون ضعفها.
- **نشر نتائج تطبيق سيجما ستة** الناجحة داخل المصنع لتعزيز القناعة بها.
- **دمج السلامة المهنية كأحد محاور سيجما الستة** في كل عملية تحسين.

- **تنفيذ دورات توعوية متخصصة حول السيليكا الكريستالين ومصادرها ومخاطرها.**
- **إجراء قياسات فعلية دورية للتعرض** لجميع العمال، خاصة في الصيانة والطحن.
- **ربط نتائج التقييمات الصحية الفردية** بعمليات تحسين مستمرة وفق سيجما ستة

خلاصة وتوصية عامة:

بناءً على التحليل المقارن، فإن تنفيذ منهجية **سيجما ستة** في صناعة الأسمنت الليبية يتطلب:

- **تحسين وعي العاملين، خصوصًا الليبيين،** بمخاطر السيليكا وأدوات التحسين الحديثة.
- **تجاوز الفجوة بين الإدراك النظري والتطبيق العملي** من خلال تدريب عملي ومنهجي.

اعتماد سيجما ستة كنظام شامل وليس كبرنامج مرحلي، عبر إدماج جميع المستويات الإدارية

المراجع :

1- Antony, J., & Banuelas, R. (2002). "Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma." International Journal of Quality & Reliability Management, 19(8), 984-1000.

2 - Harry, M., & Schroeder, R. (2000). Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. Currency.

3- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). The Six Sigma Way. McGraw-Hill.

4- George, M. L., Rowlands, H., Price, M., & Maxey, J. (2005). The Lean Six Sigma Pocket Toolbook. McGraw-Hill.

5- WHO (2021). Silica, Crystalline (Respirable Size). World Health Organization.

6 -ILO (2020). Guidelines on Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. International Labour Organization.

7 - Wang, Y., Li, X., & Zhang, J. (2019). "Exposure to Respirable Crystalline Silica in Cement Industry." Journal of Occupational Health, 61(3), 210-218.

9 - Gupta, A., Singh, R., & Kumar, S. (2018). "Health Effects of Crystalline Silica Exposure in Cement Workers." International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 24(2), 234-245.

10 - Rao, K. S., Prasad, R. N., & Kumar, A. (2017). "Reducing Crystalline Silica Exposure in Cement Industry Using Six Sigma." International Journal of Quality & Reliability Management, 34(6), 789-802.

11 -Singh, A., & Kumar, P. (2016). "Risk Assessment of Crystalline Silica Exposure in Cement Industry." Journal of Hazardous Materials, 301, 112-120.

12 - Jain, V., Sharma, A., & Singh, R. (2015). "Improving Safety Measures to Reduce Crystalline Silica Exposure in Cement Industry." Safety Science, 79, 234-245.

13 - Khan, M. A., Ahmed, S., & Ali, S. (2021). "Ventilation System Improvement in Cement Industry Using Six Sigma." Journal of Industrial and Production Engineering, 38(5), 234-245.

14 - Patel, R., Patel, A., & Shah, D. (2020). "Personal Protective Equipment Usage in Cement Industry Using Six Sigma." International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 26(3), 456-467.

15 - Sharma, H., Kumar, S., & Singh, P. (2019). "Impact of Training on Reducing Crystalline Silica Exposure in Cement Industry." Journal of Occupational Health, 61(5), 345-356.