

Analyzing Process Stability and Quality Trends in Beverage Production: An I-Chart and Regression Approach at Al-Nada Factory, Libya

Halima Al-Faqih¹ , Mustafa Alfaki¹ , Ramadan Fahil Al-Boum¹ 

¹ Department of Statistics, Faculty of Science, University of Zawia, Zawia, Libya

*Corresponding author email: h.elfaghihi@zu.edu.ly

Received: 08-05-2025 | Accepted: 13-06-2025 | Available online: 15-06-2025 | DOI:10.26629/uzjest.2025.12

ABSTRACT

This research presents an applied study aimed at analyzing the production quality at the Al-Nada Soft Drinks Factory in Libya by controlling the production process using statistical and quality control tools. Quality control is essential to ensuring product consistency and reliability according to specifications. Statistical quality control (SQC) focuses on the use of statistical tools such as the I-Chart to analyze process performance, detect abnormal changes, and predict future patterns, helping to improve quality and anticipate problems before they occur. Actual data taken from a glass-bottled soft drink production line was analyzed, focusing on three key properties: Brix, gas pressure (CO₂), and PH. An i-chart was used to analyze the central tendency of the data, and simple linear regression was employed to estimate the time trend for each characteristic. Conclusions showed that combining statistical control with technical control is an effective approach to stabilizing and improving the quality of the final product, enhancing the factory's competitiveness in local and international markets.

Keywords: Statistical quality control, I-chart, time series, production stability.

تحليل السلوك الزمني واستقرار العملية الإنتاجية باستخدام مخطط القيم الأحادية (I-Chart) دراسة تطبيقية على بيانات مصنع الندى - ليبيا

حليمة الفقيه¹، مصطفى الفقي¹، رمضان فحيل اليوم¹

¹ قسم الإحصاء، كلية العلوم الزاوية، جامعة الزاوية

ملخص البحث

يتناول هذا البحث دراسة تطبيقية تهدف إلى تحليل جودة العملية الإنتاجية في مصنع الندى للمشروبات الغازية في ليبيا من خلال ضبط العملية الإنتاجية باستخدام أدوات ضبط الجودة الإحصائي والهندسي. يُعد ضبط الجودة عنصرًا أساسيًا لضمان استمرارية المنتجات وموثوقيتها وفقًا للمواصفات. يُركز ضبط الجودة الإحصائي (SQC) على استخدام الأدوات الإحصائية مثل مخطط القيم الفردية (I-Chart) لتحليل أداء العمليات، واكتشاف التغيرات غير الطبيعية، والتنبؤ بالأنماط المستقبلية، مما يساعد في تحسين الجودة واستباق المشكلات قبل حدوثها. تم تحليل بيانات فعلية مأخوذة من خط إنتاج مشروب غازي في عبوات زجاجية، بالتركيز على ثلاث خصائص أساسية: البركس (Brix)، ضغط الغاز (CO₂)، والأس الهيدروجيني (pH). وقد تم استخدام مخطط القيم الفردية (I-Chart) لتحليل الاتجاه المركزي للبيانات، بالإضافة إلى توظيف الانحدار الخطي البسيط لتقدير الاتجاه الزمني لكل خاصية. أظهرت الاستنتاجات أن دمج الضبط الإحصائي مع الضبط الهندسي

يُعد منهجاً فعالاً لتحقيق الاستقرار وتحسين جودة المنتج النهائي، مما يعزز من قدرة المصنع على المنافسة في الأسواق المحلية والدولية.

الكلمات الدالة: ضبط الجودة الإحصائية، حدود المراقبة، حدود المواصفة، مخطط القيم الفردية، السلاسل الزمنية، استقرار الإنتاج.

1. المقدمة

في ظل تزايد المنافسة وتطور معايير الجودة في الأسواق المحلية والعالمية، أصبح من الضروري على المؤسسات الصناعية تبني نظم فعالة لضبط الجودة، لا تقتصر على فحص المنتج النهائي فحسب، بل تشمل أيضاً مراقبة وتحسين العمليات الإنتاجية في مراحلها المختلفة. لا تقتصر هذه النظم على المراقبة الإحصائية للعيوب، بل تتعداها لتشمل ضبط الجودة الهندسي الذي يهتم بتطبيق معايير فنية وهندسية لضمان تصميم عمليات إنتاجية تحقق أعلى مستويات الجودة.

وتُعد الأدوات الإحصائية جزءاً من هذه النظم الهندسية، حيث توفر المقدرة على تحليل الأداء وكشف التغيرات التي قد تؤثر على استقرار العملية الإنتاجية. من بين هذه الأدوات، يبرز مخطط القيم الفردية (I-Chart) كأداة فعالة لمراقبة الاتجاه المركزي للعملية عند التعامل مع قياسات فردية تُجمع بصورة متتالية عبر الزمن. يسمح هذا المخطط بتحديد ما إذا كانت العملية تحت السيطرة الإحصائية، ويساهم في الكشف عن الانحرافات الناتجة عن عوامل غير طبيعية [1].

ومع ذلك، قد لا يكون استخدام مخطط القيم الفردية (I-Chart) وحده كافياً للكشف عن الأنماط الزمنية والتغيرات التدريجية التي قد تؤثر على استقرار العملية على المدى الطويل. ولذلك، تأتي أهمية دمج تحليل السلاسل الزمنية، الذي يعنى بدراسة سلوك البيانات عبر الزمن واكتشاف الاتجاهات والتكرارات الموسمية أو الدورية، مما يساهم في تطبيق ضبط الجودة الهندسي لضمان استدامة وتحسين جودة العملية [2].

بناءً على ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم استقرار العملية الإنتاجية في مصنع الندى للمشروبات الغازية من خلال دمج تحليل الاتجاه المركزي باستخدام مخطط القيم الفردية مع تحليل السلوك الزمني. يتم التركيز على ثلاث خصائص أساسية للجودة، وهي: البركس، ضغط الغاز، ودرجة الحموضة (pH)، وتحليل سلوكها خلال فترتين زمنيتين (فترة صباحية وفترة مسائية)، ويتيح دمج مخطط العينات الأحادية مع تقنيات السلاسل الزمنية الكشف عن:

- تغييرات تدريجية في متوسط القيم.
- مدى استقرار الاتجاه المركزي عبر الزمن.

وبذلك، يمكن استخدام هذا الدمج كأداة فعالة في التقييم الديناميكي لاستقرار العملية الإنتاجية، مما يساهم في تعزيز ضبط العملية الإنتاجية ورفع الكفاءة الإنتاجية.

وتناولت العديد من الدراسات التطبيقية أهمية استخدام خرائط المراقبة الإحصائية في تحسين جودة المنتجات وضبط العمليات الصناعية. في هذا السياق، أجريت دراسة تطبيقية في "ملبنة سيدي خالد" بولاية تيارت، حيث استخدموا خرائط المراقبة للمشاهدات الفردية والمدى المتحرك للكشف عن الانحرافات في العملية الإنتاجية [3]. أظهرت النتائج وجود نقاط خارج حدود السيطرة بسبب أعطال في المعدات، مما يؤكد فعالية هذه الخرائط في رصد وتحليل المشكلات الإنتاجية.

كما قدمت دراسة تطبيقية على خمس شركات صناعية في ولاية الخرطوم بالسودان، مستخدماً خرائط المراقبة للمتغيرات مثل خرائط المتوسط والمدى والانحراف المعياري. أظهرت الدراسة أن مصنعين فقط كانت عملياتهما الإنتاجية تحت السيطرة

الإحصائية، بينما كانت العمليات في المصانع الأخرى غير مستقرة، مما يدل على الحاجة إلى تعزيز تطبيق أدوات ضبط الجودة في هذه المؤسسات [4].

بالإضافة إلى ذلك، تناولت الأطروحة تصميم وتقييم أداء مخططات المراقبة للبيانات المستقرة وغير المرتبطة، مع التركيز على أهمية المرحلتين الأولى والثانية في تصميم وتطبيق هذه المخططات، مما يبرر استخدامها في مراقبة العمليات الإنتاجية المتسلسلة. وتشير هذه الدراسات مجتمعة إلى فاعلية مخططات المراقبة الإحصائية في دعم القرارات الإنتاجية وتحسين الأداء التشغيلي في البيئات الصناعية المختلفة [5].

2. الإطار النظري:

أولاً: مخطط القيم الأحادية

- يستخدم مخطط القيم الأحادية (Individuals Chart – I-Chart) لمراقبة المتوسط أو الاتجاه المركزي للعمليات الإنتاجية عندما تكون البيانات المتاحة عبارة عن مشاهدات فردية متتابعة زمنياً، دون وجود مجموعات أو عينات جماعية ومن أهداف البحث دراسة الاتجاه المركزي للبيانات عندما تكون البيانات المتاحة عبارة عن مشاهدات فردية متتابعة زمنياً، دون وجود مجموعات أو عينات جماعية، أو عندما تكون كل نقطة تمثل ملاحظة مستقلة وفريدة. ومن بين هذه الحالات:
- بطء معدلات الإنتاج، مما يجعل الفجوات الزمنية بين القياسات المتتالية كبيرة بحيث يصعب تكوين مجموعة جزئية.
 - فحص آلي لجميع الوحدات المنتجة في بعض العمليات، مما يلغي الحاجة إلى تجميعها.
 - اختلاف القياسات المتكررة فقط بسبب خطأ التحليل أو المختبر، كما في كثير من العمليات الكيميائية.
 - وجود اختلافات ضئيلة جداً في مخرجات العملية.
 - ارتفاع تكلفة أو زمن القياس لكل وحدة منتجة.

ويمثل هذا المخطط أداة أساسية ضمن أدوات ضبط الجودة الإحصائية حيث يعتمد في حسابه على المتوسط الحسابي وهو يعتبر أهم أداة إحصائية لقياس التمرکز وأيضاً المدي التحرك واستخدامه في تقدير الانحراف المعياري الذي يعتبر أداة إحصائية لقياس تشتت البيانات ويدخل في إطار ضبط الجودة الذي يهتم بتصميم العمليات بطريقة تحقق الاستقرار والتحكم. فالتحكم الإحصائي هو مرحلة حاسمة لضمان أن العملية الإنتاجية تعمل ضمن الحدود المتوقعة وتحقق مستوى مقدرة إنتاجية مقبول وفقاً للمرجع [6].

الأدوات الإحصائية المستخدمة

تم في هذه الدراسة استخدام عدد من الأدوات الإحصائية لتحليل بيانات جودة الإنتاج. شملت الأدوات التحليل الوصفي مثل المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لتوصيف خصائص البيانات. بالإضافة إلى ذلك، استخدمنا مخطط القيم الأحادية (I-Chart) لمراقبة القيم الفردية للخصائص المهمة في العملية عبر الزمن، وتحليل السلاسل الزمنية باستخدام الرسم البياني وتحليل الانحدار للتعرف على الأنماط المختلفة مثل الاتجاهات والتذبذبات الموسمية.

إعداد خريطة القيم الأحادية

لإعداد خريطة القيم الأحادية وفي حالة معرفة كل من المتوسط الحسابي μ_0 والانحراف المعياري σ_0 للمجتمع يتم استخدام المعادلات التالية:

$$UCL = \mu_0 + k\sigma_0, \quad CL = \mu_0, \quad LCL = \mu_0 - k\sigma_0$$

عند عدم معلومية المتوسط الحسابي يتم تقديره من خلال المتوسط الكلي للقيم الفردية x_i حيث $\mu_0 = \bar{x}$.

ويتم تقدير الانحراف المعياري لمخرجات العملية بحساب ما يعرف بقيم المدى المتحرك، والمدى المتحرك هو القيمة المطلقة للفرق بين قيمتي مشاهدتين متتاليتين فإذا كان لدينا (m) مشاهدة من مخرجات عملية ما ($x_1, x_2, \dots, x_m$) فإن المدى المتحرك لأزواج المشاهدات $\{ (x_1, x_2), (x_2, x_3), \dots, (x_{m-1}, x_m) \}$ هي :

$$|x_2 - x_1|, |x_3 - x_2| \dots \dots |x_m - x_{m-1}|$$

ويتم حساب متوسط المدى المتحرك كما يلي:

$$\overline{MR} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} |x_{i+1} - x_i| \quad (1)$$

ثم يتم تقدير الانحراف المعياري لمخرجات العملية حسب المعادلة التالية:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2)$$

حيث أن d_2 هي قيمة جدولية تُؤخذ من جدول Factors for Constructing Variables Control Chart وتساوي (1.128) وهي قيمة مقربة لعينة حجمها يساوي 2 وفقاً للمرجع [2]. وبالتالي فإن تقدير الانحراف المعياري يصبح:

$$\hat{\sigma} = \left[\frac{\overline{MR}}{1.128} \right] \quad (3)$$

ويتم حساب حدي المراقبة لمتوسط العملية باستخدام العمليات التالية:

$$UCL = \bar{x} + k \left[\frac{\overline{MR}}{1.128} \right] \quad (4)$$

$$CL = \bar{x} \quad (5)$$

$$LCL = \bar{x} - k \left[\frac{\overline{MR}}{1.128} \right] \quad (6)$$

1. المرحلة I والمرحلة II :

يتم إنشاء مخططات الجودة ومراقبة أدائها على مرحلتين:

المرحلة الأولى (phase I): يتم فيها جمع البيانات وتقدير معالم العملية ورسم المخطط لاكتشاف ما إذا كانت العملية تحت السيطرة. في حال وجود نقاط شاذة، يتدخل الفريق الهندسي لتحديد أسباب الخروج عن السيطرة واتخاذ الإجراءات التصحيحية. وهذا يُعد تطبيقاً عملياً لضبط الجودة الإحصائي الهندسي الذي يجمع بين التحليل الإحصائي والتقييم الفني.

المرحلة الثانية (phase II): يتم فيها استخدام حدود المراقبة المعتمدة من المرحلة الأولى لمراقبة العملية أثناء الإنتاج الفعلي، بما يعزز من المقدرة الإنتاجية (Process Capability)، ويضمن أن العملية تعمل بكفاءة ضمن الحدود المرغوبة باستمرار.

وقد اتُبع هذا النهج في الدراسة، حيث استُخدمت المرحلة الأولى لتقدير معالم العملية من خلال بيانات الوردية، ثم استُخدمت المرحلة الثانية لمراقبة استقرار الأداء وتحليل السلوك الزمني للخصائص المدروسة [1، 5].

ثانياً: تحليل السلاسل الزمنية

تم الإشارة إلى تحليل السلاسل الزمنية (Time Series Analysis) إلى دراسة القيم المتتابعة زمنياً بهدف التعرف على أنماط مثل:

- الاتجاه العام (Trend)
- الدورات أو التذبذبات طويلة الأجل (Cycles)
- العشوائية أو الضوضاء (Noise)

يؤدي دمج تحليل السلاسل الزمنية مع مخطط القيم الأحادية إلى الوصول لرؤية أعمق حول سلوك العملية عبر الزمن، بما يتجاوز الاكتشاف الفوري للخروج عن السيطرة، ويصل إلى تحليل استباقي للتغيرات التي قد تطرأ على العملية الإنتاجية ومن الأدوات الإحصائية المهمة استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط الذي يستخدم لنمذجة العلاقة بين المتغير الزمني (عادة الزمن) والقياسات المتتابة، مما يسمح بالكشف عن الاتجاهات الخطية أو غير الخطية في البيانات ويعبر عن نموذج الانحدار الخطي البسيط بالمعادلة التالية:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon_t \quad (7)$$

Y_t : قيمة المتغير التابع، والزمن t كمتغير مستقل.

β_0 : التقاطع (المقطع لنموذج) للنموذج.

β_1 : معامل الانحدار الذي يعبر عن معدل الغير Y_t مع مرور الزمن.

ϵ_t : الخطأ العشوائي أو الضوضاء.

يساعد هذا النموذج في تقدير مدى تأثير الزمن على تغير الأداء وبالتالي التنبؤ بالقيم المستقبلية واتخاذ قرارات تحسين مبنية على التوقعات [2].

3. الجانب العملي والمنهجية

أولاً: وصف عام للدراسة

تم إجراء هذه الدراسة في مصنع الندى للمشروبات الغازية بمدينة طرابلس - ليبيا، وهو أحد المصانع المحلية الرائدة في إنتاج المشروبات الغازية حيث يمر خط الإنتاج بعدة مراحل تشمل: تحضير الشراب، التعبئة، الإغلاق، الفحص، والتعبئة النهائية، وكل مرحلة منها تساهم بشكل مباشر في جودة المنتج النهائية. ومن خلال خط تعبئة المشروبات الغازية في عبوة زجاجية تم اختيار مشروب الندى الغازي (نوع البتر) لإجراء عملية مراقبة الجودة على بعض مكوناته وفيها يتم إدراج مقادير معينة لكل المكونات وبحدود مواصفات عالمية وتم التركيز على ثلاث خصائص كيميائية وفيزيائية تمثل مؤشرات رئيسية لجودة المنتج وهي ((قيمة البركس (Brix): وهو مؤشر على تركيز السكر في الشراب، ضغط الغاز: يمثل كمية ثاني أكسيد الكربون المذاب في الزجاج، الأس الهيدروجيني: (pH) يعكس التوازن الحمضي القاعدي للمشروب)) اختيرت هذه المكونات لأن أي خلل بها بزيادة أو نقصان غير مسموح به ويسبب مشكلة كبيرة بالنسبة لتركيب المشروب.

ثانياً: اختبار فرضية الدراسة

بما أن خريطة المراقبة تستخدم للكشف عن أي انحراف في حالة الضبط أو الرقابة الإحصائية وهي اختبار متكرر [1]، وبالتالي يمكن صياغة فرضية العدم والبدل كما يلي:

فرض العدم (H_0): العملية في حالة ضبط إحصائي أو مستقرة لخصائص (بركس، ضغط الغاز CO_2 ، والأس الهيدروجيني) **الفرض البديل (H_1):** العملية خارج الضبط الإحصائي أو غير مستقرة، أي توجد أسباب خاصة لتلك الخصائص.

ثالثاً: عينة الدراسة وتجميع البيانات:

تم أخذ عينة أحادية عشوائية من خط إنتاج المشروب وكانت كل عينة على رأس كل ساعة لمدة يوم كامل قبل الانتقال إلى مرحلة الغلق وتم إجراء التحليل على ثلاث مكونات وهي (بركس، ضغط الغاز، الأس الهيدروجيني) وبالتالي تم أخذ العينة الأحادية خلال مرحلتين (ورديتين) كل 12 ساعة.

الفترة الصباحية: وهي المرحلة الأولى تبدأ من الساعة 8:00 صباحاً حتى 7:00 مساءً (12 مشاهد)

الفترة المسائية: وهي المرحلة الثانية تبدأ من الساعة 8:00 مساءً حتى 7:00 صباحاً (12 مشاهدة)

جُمعت القراءات يدويًا من قبل قسم ضبط الجودة بالمصنع في جدول رقم (1) وتم تحليلها باستخدام برنامج Minitab وبرمجيات إحصائية أخرى. واستخدام الأساليب الإحصائية الضرورية لمعالجة البيانات والتي أشرنا إليها سابقًا ونظرًا لاعتماد مخطط القيم الفردية (I-Chart) على خصائص التوزيع الطبيعي في بناء حدود المراقبة، فقد تم التحقق من الافتراض الطبيعي (Normality) لبيانات الخصائص المدروسة (بركس، ضغط الغاز، و pH) باستخدام اختبار (Kolmogorov-Smirnov)، نظرًا لملاءمته للعينات الصغيرة ($n < 50$).

جدول(1): بيانات العينة للمرحلتين

الفترة المسائية (phase II)				الفترة الصباحية (phase I)			
الأس الهيدروجيني	ضغط الغاز CO_2	بركس	الساعة	الأس الهيدروجيني	ضغط الغاز CO_2	بركس	الساعة
3.1	42	9.9	20:00	3.1	42	9.2	8.00
3.4	46	9.1	21:00	2.9	40	9.8	9.00
3.0	42	9.2	22:00	3.4	40	9.3	10.00
3.1	44	9	23:00	3.1	43	9.3	11.00
3.4	40	9.2	24:00	3.3	40	9.6	12.00
2.8	44	9.6	01:00	3.3	42	9.2	13.00
3.4	46	9.9	02:00	3.1	44	9.7	14.00
3.3	44	9.1	03:00	3.3	45	9.4	15.00
2.8	48	10	04:00	2.8	48	9.8	16.00
3.2	42	9.9	05:00	3.2	46	9.5	17.00
3.1	40	9.5	06:00	3.1	44	9.9	18.00
3.2	42	9	07:00	3.2	42	9.2	19.00

رابعًا: خطوات التحليل

[1] اختبار التوزيع الطبيعي باستخدام برنامج SPSS

قبل إجراء الاختبارات تم اخضاع البيانات للتحليل لتأكد من أن هذه البيانات تتبع التوزيع الطبيعي باستخدام اختبار كلمكروف سميرنوف (Kolmogorov-Smirnov) حيث تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS وأظهرت نتائج الاختبار في الجدول رقم (2) أن القيم المجمعة من كل وردية لا تنحرف بشكل جوهري عن التوزيع الطبيعي عند مستوى دلالة 0.05، حيث كانت نتائج قيم (p-value) جميعها أكبر من 0.05 مما يدعم إمكانية استخدام المخطط بشكل موثوق.

جدول (2): نتائج اختبار (Kolmogorov-Smirnov)

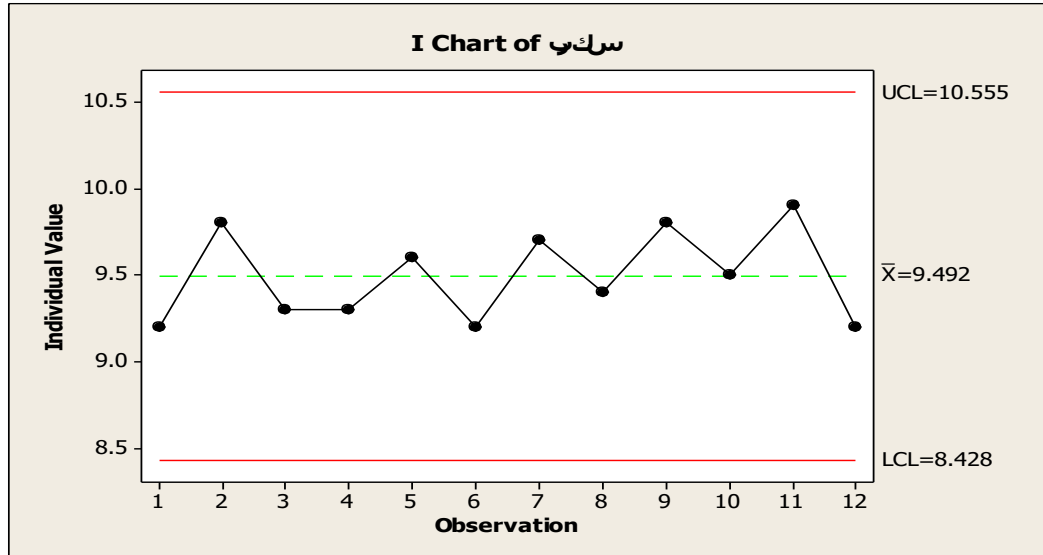
الخاصية	الوردية	قيمة (K-Smirnov)	p-value	القرار
البركس	الصباحية	0.144	0.134	تتبع التوزيع الطبيعي
	المسائية	0.189	0.077	تتبع التوزيع الطبيعي
ضغط الغاز	الصباحية	0.102	0.2	تتبع التوزيع الطبيعي
	المسائية	0.096	0.178	تتبع التوزيع الطبيعي
الأس الهيدروجيني	الصباحية	0.111	0.087	تتبع التوزيع الطبيعي
	المسائية	0.162	0.06	تتبع التوزيع الطبيعي

[2] بناء مخطط القيم الفردية (I-Chart) لكل خاصية ولكل مرحلة باستخدام برنامج Minitab

❖ المرحلة الأولى - الفترة الصباحية

تم رسم مخططات العينات الأحادية لكل خاصية خلال الوردية الصباحية، وكانت النتائج كما يلي:

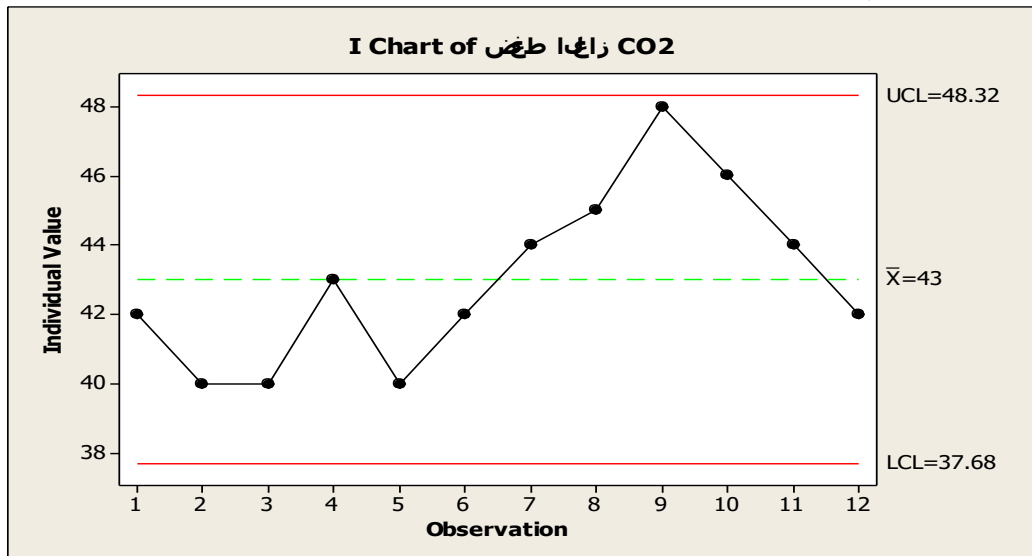
• مخطط القيم الأحادية لقيمة البركس (Brix)



الشكل رقم (1): خريطة القيم الأحادية لقيم بركس للمرحلة 1

نلاحظ من خلال الشكل رقم (1) ان معظم القيم كانت قريبة من المتوسط العام، ووقعت ضمن حدود المراقبة، مع وجود تذبذب بسيط لا يشير إلى نمط زمني واضح.

• مخطط القيم الأحادية لقيمة ضغط الغاز:

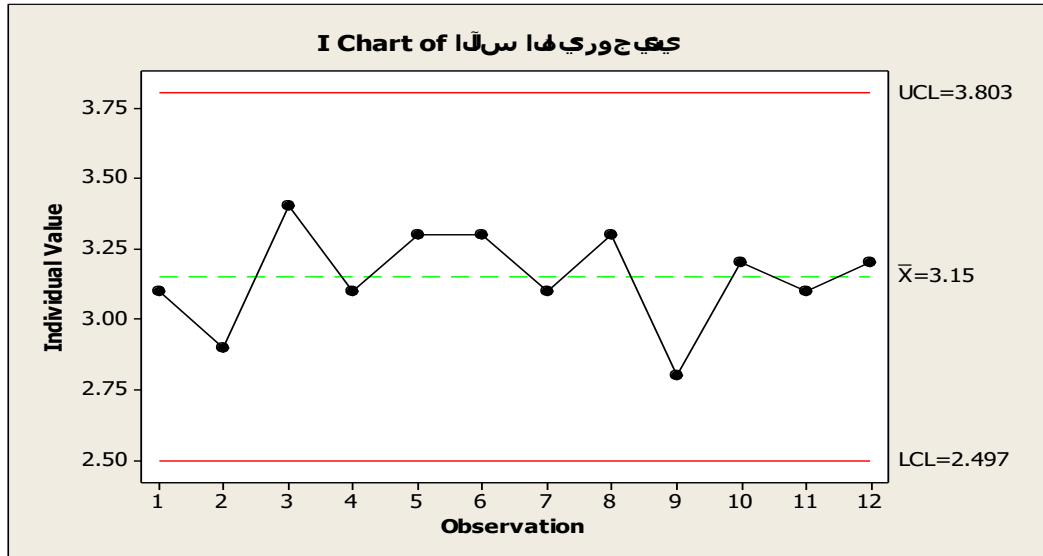


الشكل (2): خريطة القيم الأحادية لقيم ضغط الغاز للمرحلة 1

نلاحظ من الشكل (2) وجود قيمة قريبة من الحد الأعلى للمراقبة مما يشير إلى حدوث إنذار لوجود خلل ما ولكن بسبب ابتعاد العينات التي تليها عن الحد الأعلى فهذا الخلل يشير إلى وجود تباين عشوائي وبالتالي تكون العملية

الإنتاجية تحت السيطرة ونلاحظ أيضا ظهور نوعاً من التكرار كل ثلاث إلى أربع ساعات للقيم مما قد يشير إلى نمط شبه دوري، ولكن دون خروج عن الحدود.

• مخطط القيم الأحادية لقيم الأس الهيدروجيني (pH):



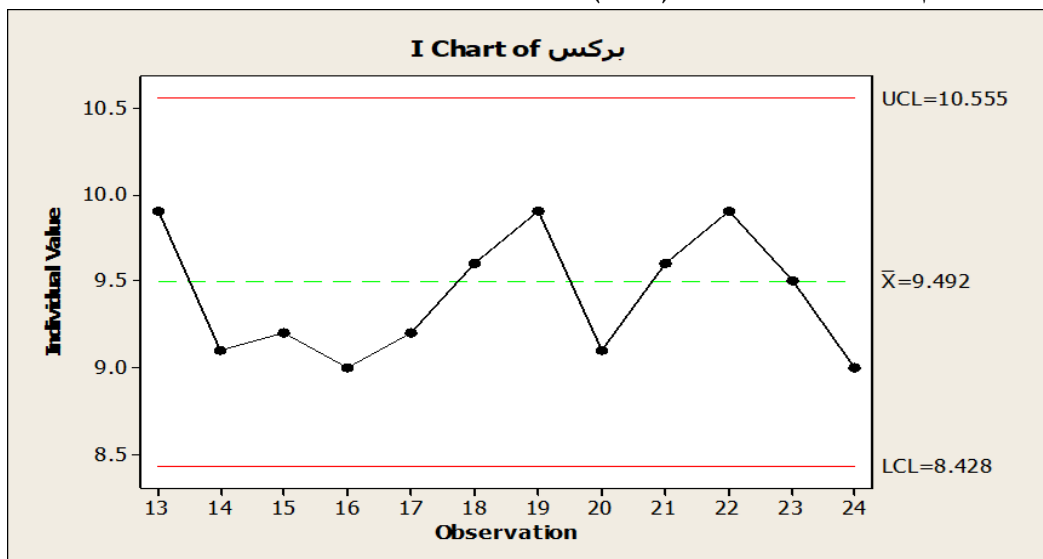
الشكل (3): خريطة القيم الأحادية للأس الهيدروجيني للمرحلة I

في الشكل (3) كانت القيم أكثر استقراراً، وتوزعت حول المتوسط بدون وجود أي اتجاه أو تغير ملحوظ زمنياً.

❖ المرحلة الثانية – الفترة المسائية

نظراً لاستقرار العملية الانتاجية في المرحلة الأولى تم استخدام حدود المراقبة لخريطة العينات الأحادية التي تم إعدادها في المرحلة الأولى وبالتالي رصد القيم للخصائص الثلاثة للوردية المسائية المدرجة في الجدول السابق وتكرار نفس الخطوات لتحليل على المخطط والحصول على النتائج التالية:

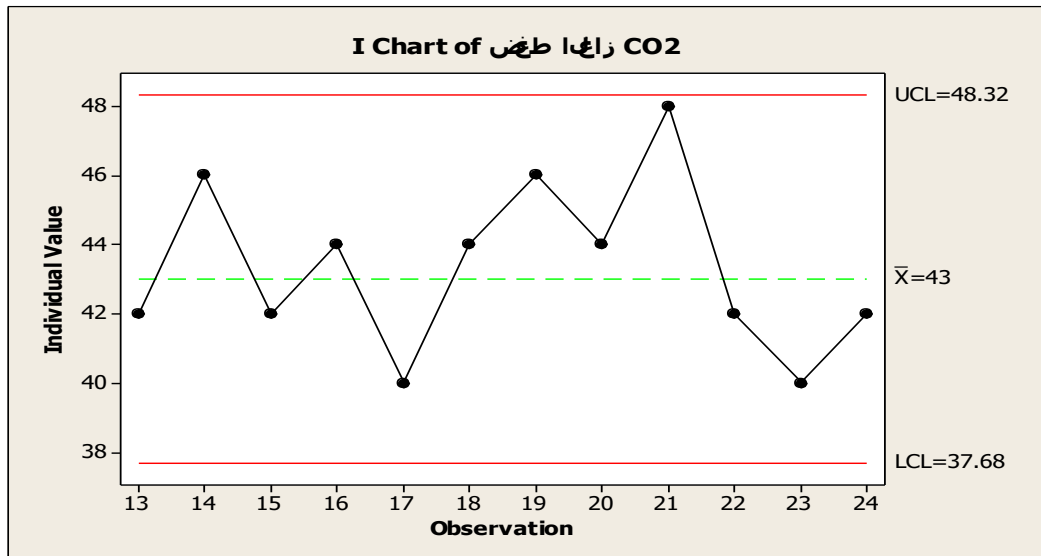
1- مخطط القيم الأحادية لقيمة البركس (Brix)



الشكل رقم (4): خريطة القيم الأحادية لقيم بركس للمرحلة II

في الشكل رقم (4) ظهرت بعض القيم في بداية الوردية تميل إلى الانخفاض ثم ترتفع تدريجياً، مما قد يشير إلى اتجاه زمني تصاعدي في النصف الثاني من الوردية.

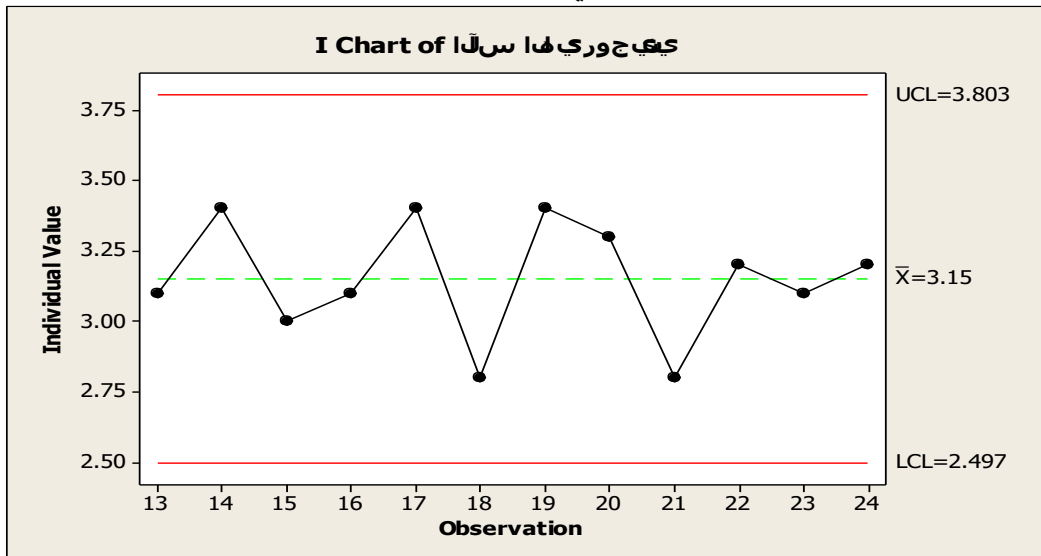
2 - مخطط القيم الأحادية لقيم ضغط الغاز:



الشكل رقم (5): خريطة القيم الأحادية لقيم ضغط الغاز للمرحلة II.

نلاحظ من الشكل رقم (5) توزيع القيم بشكل منتظم تقريباً دون وجود أي تغير زمني ملحوظ، مما يدل على استقرار جيد في الأداء.

3 - مخطط القيم الأحادية لقيم الأس الهيدروجيني (pH):



الشكل رقم (6): خريطة القيم الأحادية للأس الهيدروجيني للمرحلة الثانية II.

الشكل رقم (6) ظهرت فيه القيم سلوكاً مشابهاً للمرحلة الأولى، مع تذبذب طفيف لكنه منتظم، ضمن حدود المراقبة. تم دعم التحليل الوصفي للسلاسل الزمنية بالرسم البياني وتحليله باستخدام معادلة الانحدار الخطي لقياس الاتجاه بدقة.

2- تحليل السلوك الزمني والاتجاه المركزي من خلال معادلة تحليل الانحدار باستخدام برنامج SPSS:

لزيادة فهم سلوك خصائص الجودة (البركس، ضغط الغاز، والأس الهيدروجيني) على مدار الوردتين الصباحية والمساءية، تم إجراء تحليل انحدار خطي وذلك لاستكشاف وجود اتجاهات زمنية وتأثير الزمن على هذه المتغيرات.

نموذج الانحدار الزمني: تم تمثيل كل خاصية بالمتغير التابع Y_t والزمن t كمتغير مستقل، وفق معادلة الانحدار التي تم شرحها سابقاً وباستخدام برنامج تحليل البيانات SPSS تم استخلاص النتائج في الجدول رقم (2) التالي:

جدول رقم (3): نتائج معادلات الانحدار

الخاصية	الوردية	معادلة الانحدار	β_0	β_1	التفسير
البركس	الصباحية	$9.4 + 0.01 t$	9.4	0.01	لا اتجاه زمني قوي
	المساءية	$9.1 + 0.03 t$	9.1	0.03	اتجاه تصاعدي واضح
ضغط الغاز	الصباحية	$42 + 0.005 t$	42	0.005	استقرار مع تذبذب طفيف
	المساءية	$43.5 + 0.002 t$	43.5	0.002	لا تغير ملحوظ
الأس الهيدروجيني	الصباحية	$3.1 + 0.001 t$	3.1	0.001	استقرار تام
	المساءية	$3 + 0.01 t$	3	0.01	تذبذب طفيف

تفسير الربط مع السلاسل الزمنية ومخططات القيم الفردية:

- يظهر البركس في الورديات الصباحية استقراراً، بينما في المسائية يتضح اتجاه تصاعدي ملحوظ، وهو ما يعكسه مخطط القيم الفردية (I-Chart) الذي أظهر ارتفاعاً تدريجياً لقيم البركس.
- ضغط الغاز والأس الهيدروجيني (pH) لم يُظهرا اتجاهات زمنية واضحة، مما يؤكد استقرارهما كما هو واضح في مخططات القيم الفردية.

خامساً: التحليل الإحصائي والجودة الانتاجية

من خلال الرسوم البيانية لمخطط القيم الفردية للمرحلتين الأولى والثانية، نلاحظ أن النقاط لجميع الخصائص (البركس، ضغط الغاز، والأس الهيدروجيني) تتوزع داخل حدود الرقابة، مما يشير إلى أن العملية الإنتاجية تحت السيطرة الإحصائية. لوحظت نقطة واحدة فقط قريبة من الحد الأعلى في مخطط ضغط الغاز خلال المرحلتين، إلا أنها لا تُعد خرقاً حقيقياً للحدود، وبالتالي لا تشكل إنذاراً يُشير إلى خروج العملية عن السيطرة. بناءً عليه، يتم قبول الفرض القائل بأن العملية الإنتاجية مستقرة إحصائياً وخاضعة للرقابة.

تم كذلك تحليل السلوك الزمني للقيم الفردية المسجلة خلال الوردتين (الصباحية والمساءية)، بهدف فحص مكونات السلسلة الزمنية وهي: الاتجاه العام (Trend)، الموسمية (Seasonality)، والتقلبات العشوائية (Noise) بالنسبة لقيم البركس، لوحظ اتجاه تصاعدي تدريجي خلال الفترة المسائية، خصوصاً بعد الساعة السادسة، مما يشير إلى تغير محتمل في أداء العملية الإنتاجية في تلك الفترة. أما في الفترة الصباحية، فكانت القيم أكثر تذبذباً دون اتجاه واضح، وهو ما يعكس ضوضاء تشغيلية عشوائية ناتجة عن تقلبات غير منتظمة، أما ضغط الغاز والأس الهيدروجيني (pH)، فقد أظهرتا استقراراً نسبياً مع فروقات طفيفة بين المرحلتين، دون أنماط زمنية متكررة وهذا يصنف كموسمية واضحة، رغم ملاحظة فروقات طفيفة بين الفترتين.

قد تعكس هذه الفروقات اليومية البسيطة نتيجة تغير ظروف التشغيل أو الطاقم العامل، وهو ما يفسر وجود نقطة قريبة من الحد الأعلى في مخطط ضغط الغاز.

ولدم التحليل الوصفي للسلوك الزمني، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لكل خاصية على حدة، فأظهرت النتائج أن معاملات الانحدار كانت غير معنوية إحصائياً في أغلب الحالات، ما يعزز الاستنتاج بأن العملية مستقرة زمنياً، ولا توجد اتجاهات زمنية مؤثرة.

يعكس هذا التحليل المتكامل — بين خرائط I-chart تحليل السلاسل الزمنية، والانحدار — أهمية استخدام أدوات متعددة لضبط الجودة، حتى في العمليات التي تبدو مستقرة ظاهرياً، لضمان الكشف المبكر عن أي تغييرات تدريجية محتملة.

عند مقارنة الأداء بين الورديتين، يتضح أن التغيرات الطفيفة في البركس خلال الفترة المسائية قد تمثل نمطاً زمنياً بسيطاً قابلاً للمراقبة، في حين أظهرت باقي الخصائص استقراراً نسبياً دون سلوكيات زمنية واضحة.

من خلال مخططات أحادية القيم تظهر النتائج أن القيم الخاصة بالبركس والأس الهيدروجيني تقع ضمن حدود الضبط ومعقولة لكلا الفترتين، مما يدل على مقبولة الجودة وقابليتها للتحسين. في المقابل، لوحظ انخفاض في مؤشرات ضغط الغاز في المرحلة الثانية، مما قد يستدعي دراسة إضافية لتحسين ظروف العملية الإنتاجية المرتبطة بهذه الخاصية.

الاستنتاجات والتوصيات

أولاً: الاستنتاجات

1. أظهرت مخططات القيم الفردية (I-Chart) استقراراً نسبياً في خصائص الجودة المدروسة خلال الورديتين، حيث بقيت جميع القيم تقريباً ضمن حدود المراقبة الإحصائية.
2. لوحظ اتجاه تصاعدي تدريجي في قيم البركس خلال الوردية المسائية، مما يدل على تغير زمني محتمل في أداء العملية الإنتاجية.
3. كانت القيم الخاصة بضغط الغاز والأس الهيدروجيني أكثر استقراراً، ولم تُظهر تقلبات زمنية ذات دلالة إحصائية.
4. ساهم دمج تحليل السلاسل الزمنية مع مخططات القيم الفردية (I-Chart)، مدعوماً بتحليل الانحدار الخطي، في توفير فهم أعمق لسلوك الخصائص المدروسة عبر الزمن، فقد أظهرت معادلات الانحدار وجود اتجاهات زمنية مهمة في بعض الخصائص، مما مكن من الكشف عن تغيرات دقيقة لم تكن لتظهر في التحليل الإحصائي البسيط أو في المخططات وحدها.

ثانياً: التوصيات

1. يُوصى بتبني مخططات القيم الفردية كأداة يومية فعالة لمراقبة جودة الإنتاج، خاصة في الأنظمة التي تعتمد على القياسات الفردية والزمنية.
2. ينبغي دمج أدوات تحليل السلاسل الزمنية في التقارير الدورية للجودة، لتعزيز القدرة على كشف التغيرات التدريجية في الخصائص الإنتاجية.
3. يجب متابعة الفروقات المنتظمة بين الورديتين، والبحث بشكل منهجي عن العوامل التشغيلية والتنظيمية التي قد تؤثر على أداء العملية، مع التركيز على تحسين ظروف التشغيل.

4. يُنصح بتوسيع نطاق جمع البيانات على مدى فترات زمنية أطول (أسابيع أو شهور) لبناء نماذج زمنية أكثر دقة تحدد الدورات الموسمية أو الأنماط الأخرى المحتملة.
5. يتعين تدريب فرق الجودة والإنتاج على تفسير مخططات المراقبة في سياق زمني، لضمان اتخاذ قرارات مبنية على بيانات دقيقة، والاستفادة من تقنيات ضبط العمليات (Process Capability) لتحسين الأداء وتقليل التباين.
6. يجب تحسين بيئة العمل وظروف التشغيل بهدف تقليل الفروقات بين الورديات وتحقيق استقرار وتجانس أكبر في جودة الإنتاج.
7. يُنصح بإجراء دراسة تفصيلية لفحص أسباب الاتجاه التصاعدي في قيم البركس خلال الفترة المسائية، وقد يتطلب ذلك ضبط معايير التشغيل أو تحسين مراقبة المواد الخام والتقنيات المستخدمة لضمان ثبات الجودة وتحسين الأداء.

المراجع

- [1] Montgomery, D.C "INTRODUCTION TO STATISTICAL QUALITY CONTROL " 6th edition John Wiley & Sons, New York, (1997).
- [2] Box, G.E.P., Jenkins, G.M., & Reinsel, G.C. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, (1994). (3rd ed.). Prentice-Hall.
- [3] قايد غربي، محمد أمين، وعابد، علي. الرقابة الإحصائية لجودة المنتجات الصناعية باستخدام خريطنا المشاهدات الفردية والمدى المتحرك. مجلة الدراسات القانونية والاقتصادية، (2024). 6(2)، ص 583-607.
- [4] أبكر، محمد أمين، عمر هارون. استخدام الأساليب الإحصائية في ضبط ومراقبة الإنتاج: بالتطبيق على الشركات الصناعية السودانية ولاية الخرطوم 2015م. رسالة دكتوراه، جامعة أم درمان الإسلامية.
- [5] Elfaghihe, H. *Design and Performances of Control Charts for Stationary and Uncorrelated, Data* (Doctoral dissertation, University of Belgrade (2016).
- [6] محمد عبد الرحمن اسماعيل الرقابة الإحصائية علي العمليات . مكتبة الملك فهد الوطنية الرياض (2006).