



استخدام أدوات ضبط الجودة في مراقبة مياه الشرب: تحليل مؤشرات pH وTDS - حالة دراسية بمدينة صبراتة

فريده عمر عبدالرحمن ، ناصر مولود عبدالسلام ، عبدالعزيز رمضان امحمد ، عبد الباسط علي خليفه ،

نشوى نورالدين محمد الدباشي

قسم هندسة البيئية والموارد الطبيعية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة ، ليبيا

fareeda.abobakar@sabu.edu.ly

تاريخ الاستلام: 2025/12/8 - تاريخ المراجعة: 2025/12/12 - تاريخ القبول: 2025/12/19 - تاريخ النشر: 2025 /12/22

الملخص

تهدف الدراسة إلى تقييم جودة مياه الشرب في منطقتين بمدينة صبراتة (العلاقة) من خلال تحليل عينات من وحدة تحلية صناعية وأخرى منزلية، مع التركيز على مؤشري الرقم الهيدروجيني (pH) والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، قبل وبعد التحلية. حيث تتبع مشكلة البحث في وجود تحديات متزايدة في ضمان جودة مياه الشرب نتيجة لتنوع مصادر المياه المنزلية والصناعية واحتمال تعرضها لتلوث فيزيائي أو كيميائي، إضافة إلى ضعف استخدام الأدوات الإحصائية الحديثة في مراقبة هذه الجودة.

تم جمع 90 عينة خلال 45 يوماً وفقاً للمواصفات الليبية والدولية. أظهرت النتائج استقرار قيم pH قبل التحلية قرب الحياد، مع انخفاض طفيف بعدها في بعض العينات، بينما انخفضت قيم TDS بدرجة كبيرة بعد التحلية ودخلت ضمن الحدود القياسية. كشفت خرائط مراقبة الجودة أن عمليات التحلية مستقرة عموماً مع بعض الانحرافات الفردية. وأكدت الدراسة أهمية الدمج بين التحليل المخبري والأساليب الإحصائية لضمان جودة المياه وتقليل المخاطر الصحية، وأوصت بالمراقبة الدورية وتدريب الفنيين على أدوات الجودة لضمان وصول مياه آمنة للمستهلكين.

الكلمات المفتاحية: تقييم مياه الشرب، خرائط مراقبة الجودة، التلوث الفيزيائي والكيميائي، المواصفة الدولية لمياه الشرب

ABSTRACT

This study aims to evaluate the drinking water quality in two areas of Sabratha (Al-Alalaqa) by analyzing samples from an industrial and a household desalination unit, focusing on two key indicators: pH and TDS, before and after desalination. The research problem arises from increasing challenges in ensuring the quality of drinking water due to the diversity of domestic and industrial water sources, the potential for physical and chemical contamination, and the limited use of modern statistical tools in monitoring water quality. Ninety samples were collected over 45 days according to Libyan and international standards. Results showed that pH values before desalination were close to neutrality, with a slight decrease afterward, while

TDS levels significantly improved after desalination and met the permissible limits. Quality control charts indicated that desalination operations were generally stable with some minor deviations. The study highlights the importance of integrating laboratory analysis with statistical quality tools to ensure safe water and reduce health risks. Continuous monitoring and technician training were recommended to enhance regulatory performance and achieve sustainable safe water delivery.

المقدمة

تعتبر مياه الشرب من حاجات الإنسان الضرورية والمستمرة ولا يمكن الاستغناء عنها لأي سبب، ويجب أن تتوفر فيها معايير جودة المياه من حيث الطعم واللون بالإضافة إلى الموصفات الفيزيائية والكيميائية، تعد جودة مياه الشرب من أهم القضايا الصحية والبيئية التي تواجه المجتمعات الحديثة حيث ترتبط صحة الإنسان بشكل مباشر بمستوى نقاء المياه وخلوها من الشوائب والملوثات الكيميائية والفيزيائية.⁽⁷⁾

إن زيادة معدل نمو السكان بمناطق المغرب العربي عامة أدى إلى زيادة الاستهلاك المائي مما نتج عنه انخفاض المخزون الرئيسي للمياه العذبة وعجزه على تلبية الاحتياجات الضرورية من المياه مما أدى إلى استخدام محطات صغيرة لمعالجة المياه الجوفية لكي تصبح أكثر ملائمة للاستهلاك البشري. إن نوعية المياه الجوفية يمكن أن تحدد من خلال مكوناتها الكيميائية الأساسية وأن نتائج التحاليل الكيميائية للمياه يساعد في تحديد فائدتها كمصدر للشرب والاستخدامات الأخرى.⁽³⁾ إن مراقبة جودة المياه ليست مجرد إجراء روتيني، بل هي عملية متكاملة تهدف إلى حماية الصحة العامة، والوقاية من الأمراض المنقولة عبر المياه، وتقليل المخاطر البيئية المرتبطة بتلوث مصادر المياه، ومن الأدوات العلمية الفعالة المستخدمة في مراقبة وضبط جودة المياه، تبرز خرائط مراقبة الجودة (Quality Control Charts) كوسيلة إحصائية عملية لرصد التغيرات في خصائص المياه بشكل مستمر والكشف المبكر عن أي انحرافات عن الحدود المسموح بها.

مشكلة الدراسة

تواجه مدينة صبراتة، شأنها شأن العديد من المدن الليبية، تحديات متزايدة في ضمان جودة مياه الشرب بسبب تنوع مصادر المياه وارتفاع احتمالية تعرضها للتلوث الفيزيائي والكيميائي، مما قد يؤثر على سلامة المياه وصحة المستهلكين. ومن هنا تبرز مشكلة الدراسة في الحاجة إلى تقييم فعالية استخدام أدوات وضبط الجودة، وخصوصاً خرائط مراقبة الجودة، في تحليل ومتابعة مؤشري الرقم الهيدروجيني (pH) والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، وذلك لتحسين أداء وحدات التحلية وضمان وصول مياه مطابقة للمواصفات الصحية إلى المستهلكين.

اهداف الدراسة

تهدف الدراسة الى:

- تقييم كفاءة وحدة التحلية في موقعين مختلفين من خلال تحليل عينات المياه قبل وبعد دخولها إلى محطة التحلية.
- استخدام خرائط مراقبة الجودة لرصد القيم الفعلية لـ (pH، TDS) وتحديد مدى استقرارها ضمن الحدود المسموح بها.
- مقارنة مدى مطابقة النتائج للمعايير القياسية وتقديم توصيات لتحسين جودة المياه.

الجانب النظري

جودة مياه الشرب

تعني جودة المياه مدى ملاءمة المنتج للغرض الذي يستخدم من أجله، الجودة ليست مجرد عملية فنية بل نظام متكامل تكون فيه العملية الفنية جزءاً واحداً تقاس الجودة بمعايير تعرف بمعايير الجودة. تحدد معايير جودة المياه من قبل الجهات المختصة علمياً عبر تقدير تراكيز المواد المسموح بها في المياه تبعاً لاستخدامها، سواء كان للشرب أو للاستخدام الزراعي.

أو الصناعي. تهدف هذه المعايير إلى تحديد التراكيز المناسبة لكل استخدام في موقع معين. يعد الحد الأدنى للحفاظ على جودة المياه هو منع جميع الملوثات من الوصول إلى المصادر المائية. (4,1)

المواصفات القياسية الليبية لمياه الشرب

تعتبر المواصفة القياسية الليبية الصادرة عن المركز الوطني للمواصفات المرجع الفني والتنظيمي الأساسي المعتمد في ليبيا لتحديد خصائص مياه الشرب.

وتحدد هذه المواصفة الحدود القصوى والحدود المسموح بها للعديد من المعايير للخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية مثل درجة الحموضة (pH)، والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، والعناصر الكيميائية مثل النترات والكلور، وفق الجدول التالي: (2,1)

الجدول (1) الحدود المرجعية للمواصفات الليبية لمياه الشرب

المتغير	النطاق الأمثل	نطاق القبول	الوحدة	المعيار المرجعي
الرقم الهيدروجيني pH	7.0–7.5	6.5–8.5	–	WHO / LNCS 2008
المواد الصلبة الذائبة TDS	< 200	< 500	mg/L	WHO / LNCS 2008
الصوديوم Na ⁺	≤ 200	≤ 200	mg/L	LNCS 2008
البوتاسيوم K ⁺	≤ 10	≤ 12	mg/L	LNCS 2008
المغنيسيوم Mg ²⁺	≤ 30	≤ 50	mg/L	LNCS 2008
الكالسيوم Ca ²⁺	≤ 75	≤ 100	mg/L	LNCS 2008
الكلوريد Cl ⁻	≤ 250	≤ 350	mg/L	LNCS 2008

خرائط ضبط الجودة

خرائط ضبط الجودة

تعتبر خرائط المراقبة الاحصائية من الادوات الهامة لضبط ومراقبة العملية الانتاجية وقياس جودة المنتجات أثناء العملية الانتاجية و للتأكد من مطابقتها للمواصفات المحددة مسبقا واكتشاف موطن الخلل والانحرافات غير المرغوب فيها في الاداء وزمن ومكان الخلل وتحديد أسباب هذه الانحرافات لتصحيحها وتقادي المشاكل الممكنة الظهور في المنتج مستقبلا، بهدف ضمان التحسين المستمر للعملية الانتاجية. (5)

أنواع خرائط الرقابة

هناك مفهومان اساسيان في لوحات السيطرة وضبط المنتج يمكن توضيحهما وعلى ضوء هذين المفهومين يمكن تحديد انواع خرائط السيطرة. (7,5)

- المتغيرات Variables : وهو تسجيل الخصائص النوعية لمفردات عينة معينة بعد اختبارها بوحدات قياسية مثل الوزن، الطول، المعدل والدرجة، الخ... اي تم التعبير عن الجودة بالمتغير، من خرائط مراقبة المتغيرات في المجالات الصناعية خريطة المتوسط الحسابي (X-Chart) وخريطة المدى (R-Chart) وخريطة الانحراف المعياري (R-Chart).

- الصفات Attributes: ويقصد بها تسجيل النتائج واختيار مفردات العينة بدون وحدات قياس حيث يعبر عنها مطابقة او غير مطابقة مثل نسبة المواد التالفة الى حجم العينة, مثل عدد الغسالات التي تعييبها أخطاء في الطلاء على الهيكل الخارجي, ومن أهم خرائط مراقبة الخواص أو الصفات في المجالات الصناعية أو الخدمية على سبيل المثال خريطة نسبة المعيب (P – CHART), وخريطة عدد العيوب في الوحدات للعينة المتغيرة (U-Chart), وخريطة عدد المعيب في الوحدات للعينة الثابتة (Np-Chart).

خرائط مراقبة المتغيرات

- **خرائط المتوسط الحسابي (X – Chart):** يستخدم لمراقبة متوسط العملية الإنتاجية حيث يوضح متوسط العينات المأخوذة من العملية الإنتاجية وهناك عدة حالات
- الحالة الأولى:** في حالة معلومية كل من الوسط الحسابي للمجتمع (μ) والانحراف المعياري للمجتمع (σ) يتم حساب الحدود الثلاثة كما يلي⁽⁵⁾:

$$UCL = \mu + \left(\frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - \left(\frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

الحالة الثانية: في حالة ان الوسط الحسابي للمجتمع (μ) مجهول والانحراف المعياري للمجتمع (σ) معلوم في هذه الحالة نستبدل (μ) بي (\bar{X}) يتم حساب الحدود الثلاثة كما يلي:

$$UCL = \bar{X} + \left[\frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

$$CL = \bar{X}$$

$$LCL = \bar{X} - \left[\frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

الحالة الثالثة: في حالة أن الوسط الحسابي للمجتمع (μ) معلوم والانحراف المعياري للمجتمع (σ) غير معلوم في يمكن ايجاد حدود الضبط كالتالي:

- البديل الأول استخدام (R- chart) يتم حساب الحدود الثلاثة كمايلي:

$$UCL = \mu + (A_2 \bar{R})$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - (A_2 \bar{R})$$

حيث أن (\bar{R}) تمثل متوسط المديات.

- البديل الثاني استخدام (S-chart) يتم حساب الحدود الثلاثة كما يلي:

$$UCL = \mu + \left[\frac{3\bar{s}}{\sqrt{n}} \right]$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - \left[\frac{3\bar{s}}{\sqrt{n}} \right]$$

حيث أن (\bar{s}) تمثل متوسط الانحرافات المعيارية للعينات

- البديل الثالث استخدام التباين المشترك S_{pooled}

$$LCL = \mu + \left[\frac{3S_{pooled}}{\sqrt{n}} \right]$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \mu - \left[\frac{3\sigma_{pooled}}{\sqrt{n}} \right]$$

الحالة الرابعة: عندما يكون الوسط الحسابي للمجتمع (μ) والانحراف المعياري للمجتمع (σ) غير معلومين فتكون حدود السيطرة كما يلي:

$$UCL = \bar{X} + \left(\frac{3\bar{s}}{\sqrt{n}} \right)$$

$$CL = \mu$$

$$LCL = \bar{X} - \left(\frac{3\bar{s}}{\sqrt{n}} \right)$$

- **الانحراف المعياري (S-chart):** في هذا النوع من خرائط المراقبة يتم مراقبة الانتاج عن طريق فحص الانحراف المعياري لكل عينة لتحديد مدى وجود عينة شاذة ويشترط لاستخدام هذه الخرائط ان يكون $k \geq 9$, وإذا كان $k < 9$ تستخدم خرائط المدى Charts-R. ويمكن حساب حدود السيطرة لهذه الخرائط كما في الحالات التالية وهناك عدة حالات:
- الحالة الأولى: معلومية الانحراف المعياري يتم حساب حدود الضبط كما يلي:

$$UCL = B_6 \delta$$

$$CL = C_4 \delta$$

$$LCL = B_5 \delta$$

مع ملاحظة أن B_5 ، C_4 ، B_6 يتم استخراجها عن طريق جدول ثوابت.

الحالة الثانية: ان يكون الانحراف المعياري للمجتمع غير معلوم في هذه الحالة يتم رسم خريطة الانحراف المعياري بعدة طرق منها:

- طريقة حساب متوسط الانحرافات للعينات وتكون طريقة حساب حدود الضبط كما يلي:

$$UCL = B_6 \left(\frac{\bar{s}}{C_4} \right)$$

$$CL = \bar{s}$$

$$LCL = B_5 \left(\frac{\bar{s}}{C_4} \right)$$

طريقة حساب استخدام التباين المشترك S_{pooled}

$$LCL = B_6 \left[\frac{S_{pooled}}{C_4} \right]$$

$$CL = S_{pooled}$$

$$LCL = B_5 \left[\frac{S_{pooled}}{C_4} \right]$$

حيث ان (\bar{S}) تمثل الانحرافات المعيارية للعينات.

المدى (R - chart): ويعرف لعدد من المشاهدات بأنه الفرق بين أكبر مشاهدة وأصغر مشاهدة وكلما قلت قيمته تكون البيانات الإحصائية او المشاهدات أكثر تجانسا من حيث تقاربها من بعضها البعض يتم حساب حدود المدى كمايلي:

$$CL = \bar{R}$$

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

حيث أن (\bar{R}) تمثل متوسط الأمدية و D_3 و D_4 ثابت.

الجانب التطبيقي

جمع البيانات

تم تنفيذ الدراسة خلال الفترة من شهر مايو الى شهر سبتمبر من العام 2025، لرصد جودة مياه الشرب في موقعين بمنطقة العلالقة (صبراتة، ليبيا)، شملت وحدة تحليلية صناعية (مسجد الرزاق) ووحدة تحليلية منزلية بإحدى المنازل. طبقت على 90 عينة (45 قبل التحلية و45 بعدها) خلال 45 يومًا، مع تركيز على متغيري الأس الهيدروجيني (pH) والمواد الصلبة الذائبة (TDS). اعتمدت المنهجية على جمع العينات وفق المعايير الليبية (LNCS 2008) والاشتراطات الصحية، تليها تحليل مخبري دقيق باستخدام أجهزة معايرة.

جمع العينات

في هذا الإطار، تم تبني عدة طرق لجمع عينات المياه من المواقع المختارة تركز على توقيت محدد، وتعقيم أدوات الجمع، واتباع مواصفات قياسية للحفاظ على جودة العينات حتى موعد التحليل.

وقد تم جمع وتحليل عينات المياه وفقًا للمواصفة الليبية LNCS 2008- المطابقة تمامًا لمعايير منظمة الصحة العالمية (WHO, 2017)

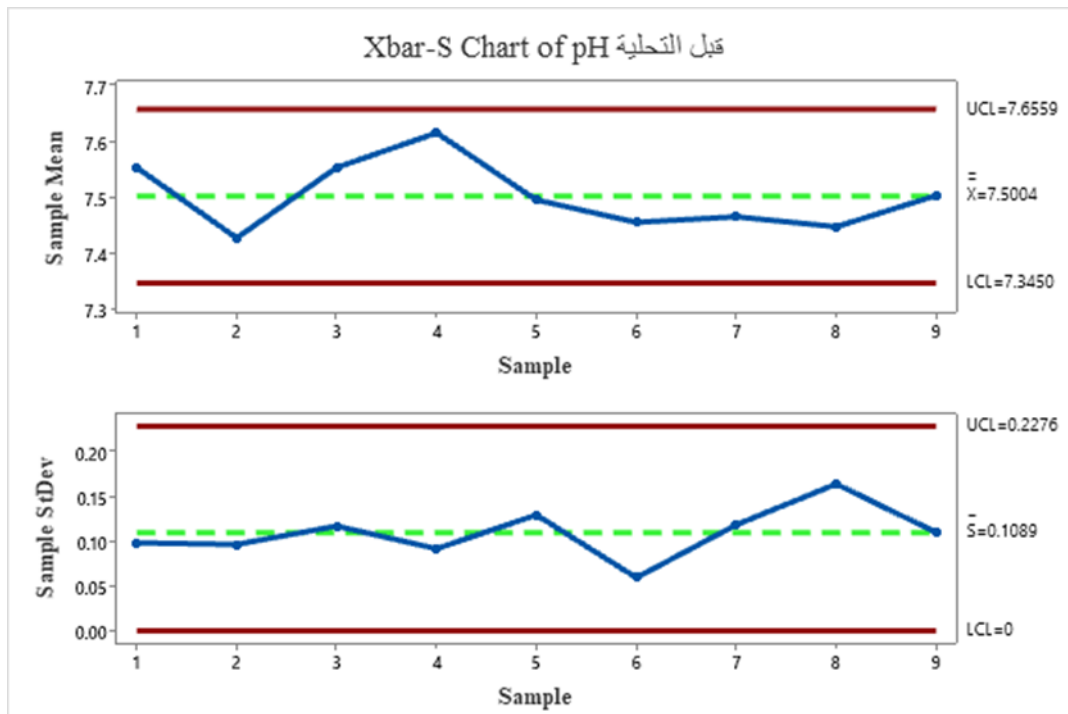
بيانات الموقع الأول - الوحدة المنزلية

جدول (2) بيانات الموقع الاول

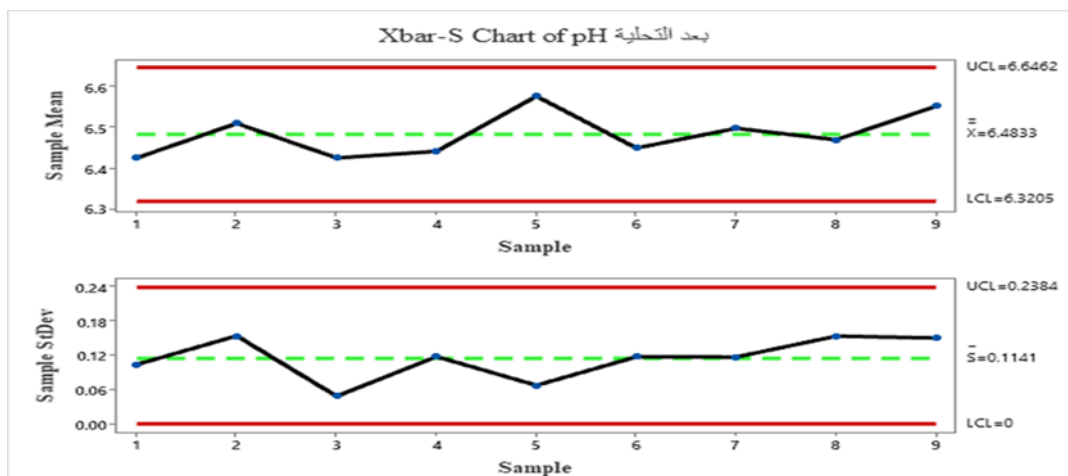
التاريخ	الموقع	قبل التحلية pH	بعد التحلية pH	قبل التحلية TDS	بعد التحلية TDS
5/1/2025	Site 1	7.57	6.44	1956.4	158.8
5/2/2025	Site 1	7.42	6.51	1992.1	165.4
5/3/2025	Site 1	7.68	6.31	1904.1	184.4
5/4/2025	Site 1	7.5	6.54	1919.2	158
5/5/2025	Site 1	7.59	6.33	1895.9	170.2
5/6/2025	Site 1	7.39	6.54	1845	177.5
5/7/2025	Site 1	7.39	6.66	1876.4	173.4
5/8/2025	Site 1	7.48	6.64	1889.4	164
5/9/2025	Site 1	7.31	6.41	1985.2	155.3
5/10/2025	Site 1	7.56	6.3	1941.3	180.5
5/11/2025	Site 1	7.57	6.4	1898.7	158.9
5/12/2025	Site 1	7.38	6.39	1990.1	159.5
5/13/2025	Site 1	7.64	6.41	1952.6	161.9
5/14/2025	Site 1	7.67	6.51	1832.5	182.8
5/15/2025	Site 1	7.5	6.42	1905.4	155.7
5/16/2025	Site 1	7.48	6.37	1951.5	177.8

5/17/2025	Site 1	7.7	6.62	1828.8	157.5
5/18/2025	Site 1	7.57	6.44	1945.3	181
5/19/2025	Site 1	7.63	6.47	1828.8	157
5/20/2025	Site 1	7.69	6.31	1903.2	154
5/21/2025	Site 1	7.58	6.55	1925.8	159.4
5/22/2025	Site 1	7.38	6.66	1850.7	166
5/23/2025	Site 1	7.57	6.58	1864.3	157.4
5/24/2025	Site 1	7.61	6.61	1837.6	175.2
5/25/2025	Site 1	7.33	6.48	1805.9	160.4
5/26/2025	Site 1	7.36	6.37	1932.7	157.8
5/27/2025	Site 1	7.48	6.5	1916.5	178.2
5/28/2025	Site 1	7.45	6.48	1986.2	153.9
5/29/2025	Site 1	7.46	6.6	1982.8	166.9
5/30/2025	Site 1	7.52	6.3	1816.8	153.8
5/31/2025	Site 1	7.43	6.58	1933.7	161.4
6/1/2025	Site 1	7.6	6.4	1896	170
6/2/2025	Site 1	7.46	6.4	1937.4	186
6/3/2025	Site 1	7.29	6.66	1930	381
6/4/2025	Site 1	7.54	6.45	1898.6	165.9
6/5/2025	Site 1	7.31	6.34	1899.1	169.5
6/6/2025	Site 1	7.53	6.6	1833.7	165.4
6/7/2025	Site 1	7.69	6.37	1830.3	182.7
6/8/2025	Site 1	7.39	6.67	1913.8	164.4
6/9/2025	Site 1	7.31	6.37	1935.2	184.7
6/10/2025	Site 1	7.63	6.68	1934.3	180.7
6/11/2025	Site 1	7.49	6.32	1852.6	180.6
6/12/2025	Site 1	7.52	6.69	1883.4	174.9
6/13/2025	Site 1	7.54	6.54	1960.6	155.8
6/14/2025	Site 1	7.33	6.53	1862.4	154.5

بلغ متوسط قيم pH قبل التحلية 7.53 وبعد التحلية 6.48، أما قيم TDS فبلغت قبل التحلية متوسطاً يقارب 1,924 mg/L وبعد التحلية انخفضت إلى متوسط 168 mg/L تقريباً. جميع النتائج قبل وبعد التحلية - باستثناء قيم pH بعد التحلية - بقيت ضمن النطاقات المسموح بها للمعايير المحلية (5.5-8.5 pH، TDS أقل من 500 mg/L).



الشكل (1) يوضح بيانات تحليل نسبة PH في الموقع الاول قبل التحلية



الشكل (2) يوضح بيانات تحليل نسبة PH في الموقع الاول بعد التحلية

تم إجراء تحليل إحصائي لمتغير pH باستخدام خريطة X-S بناءً على تقسيم البيانات إلى 9 مجموعات فرعية، كل منها تحتوي على 5 قراءات أي أن (n=5)، وذلك لمراقبة سلوك المياه قبل وبعد عملية التحلية.

تحليل ومناقشة نتائج الرقم الهيدروجيني (pH).

1. قبل التحلية:

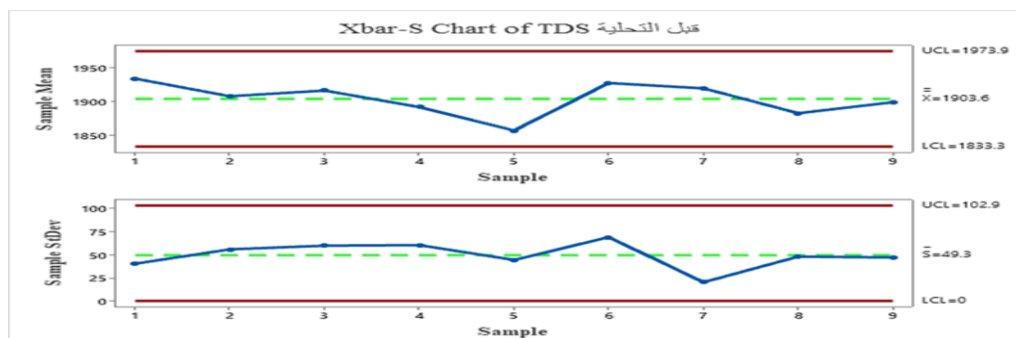
بلغ متوسط الرقم الهيدروجيني $\bar{X}=7.5004$ مما يشير إلى مياه قريبة من الحياد الكيميائي، وقد تبين أن جميع قيم المتوسطات والانحرافات المعيارية ضمن الحدود المسموح بها (UCL و LCL)، يشير ذلك إلى أن عملية إنتاج المياه كانت مستقرة إحصائياً قبل التحلية.

2. بعد التحلية:

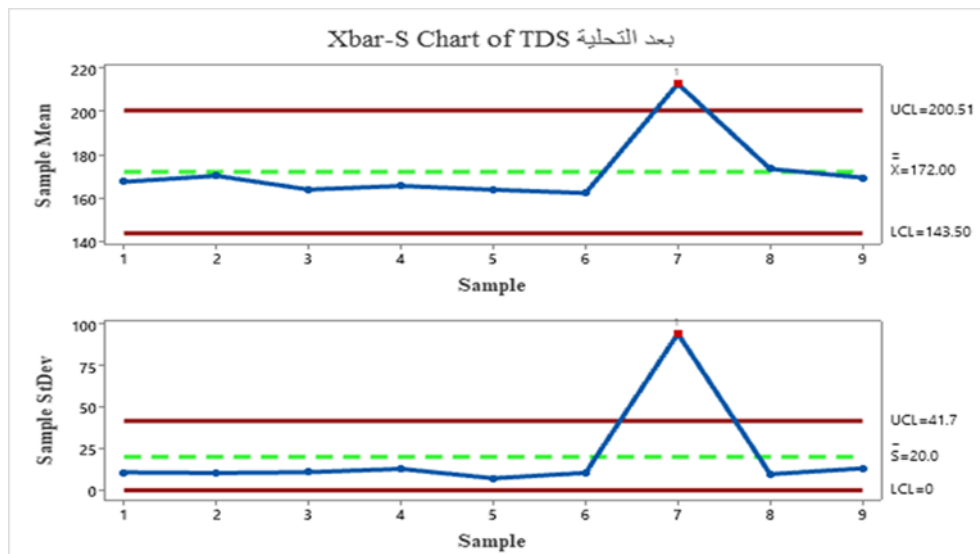
انخفض متوسط pH إلى $X=6.4833$ ، وهو انخفاض ملحوظ مقارنة بما قبل التحلية، وقد يُعزى ذلك إلى استخدام مواد كيميائية معدلة للحموضة أثناء عملية المعالجة، وقد تبين وجود ازدياد طفيف في التشتت في القيم حيث ارتفع متوسط الانحراف المعياري من 0.1089 إلى 0.1141، رغم ذلك بقيت جميع النقاط داخل حدود السيطرة الإحصائية، مما يشير إلى أن العملية ظلت مستقرة بعد التحلية.

3. التحليل المقارن بين المرحلتين

يوضح أن عملية التحلية أثرت على قيمة pH، لكنها لم تؤثر سلباً على استقراره عملية التحلية، وهو ما يعكس كفاءة منظومة المعالجة.



الشكل (3) يوضح بيانات تحليل نسبة TDS في الموقع الاول قبل التحلية



الشكل (4) يوضح بيانات تحليل نسبة TDS في الموقع الاول بعد التحلية

من خلال تحليل مخططات التحكم X-S الخاصة بإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) قبل وبعد التحلية. تحليل ومناقشة نتائج المواد الصلبة الذائبة (TDS).

1. قبل التحلية:

أظهرت نتائج التحليل أن جميع القيم تقع داخل حدود التحكم الإحصائية ($LCL = 1833.3$, $UCL = 1973.9$)، مما يشير إلى أن العملية تحت السيطرة ولا توجد أسباب خاصة تؤثر على استقرارها. كما لم تظهر أي مؤشرات على وجود نمط غير عشوائي في توزيع القيم، الأمر الذي يعزز استقرار النظام. ومع ذلك، تبين أن قيمة الانحراف المعياري ($S = 49.3$) تقع ضمن المستوى المتوسط إلى المرتفع، مما يدل على وجود تباين ملحوظ بين العينات. إضافة إلى ذلك، فإن

المتوسط الحسابي للقراءات بلغ 1903.6 mg/L، وهو مرتفع جدًا مقارنة بالمواصفة القياسية الليبية لمياه الشرب التي تحدد الحد الأقصى للأملاح الذائبة الكلية بـ 500 mg/L، مما يشير إلى ارتفاع نسبة الملوحة في المياه وعدم مطابقتها للمعايير الصحية المعتمدة.

2. بعد التحلية:

أظهرت النتائج أن المتوسط العام انخفض إلى 172.0 mg/L، وهو ما يقع ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفة المعتمدة لمياه الشرب، مما يشير إلى تحسن في جودة المياه. ومع ذلك، لوحظ خروج العينة رقم (7) عن حدود الضبط في كل من خريطة المتوسطات (X^-) وخريطة الانحرافات المعيارية (S)، الأمر الذي يدل على حدوث عامل عرضي أثر على عملية المعالجة في تلك المرحلة. كما تبين أن الانحراف المعياري العام انخفض إلى 20.0، وهو ما يمثل تحسنًا ملحوظًا مقارنة بالقيم السابقة، مما يعكس استقرارًا أكبر وتجانسًا في جودة المياه بعد المعالجة.

3. التحليل المقارن بين المرحلتين

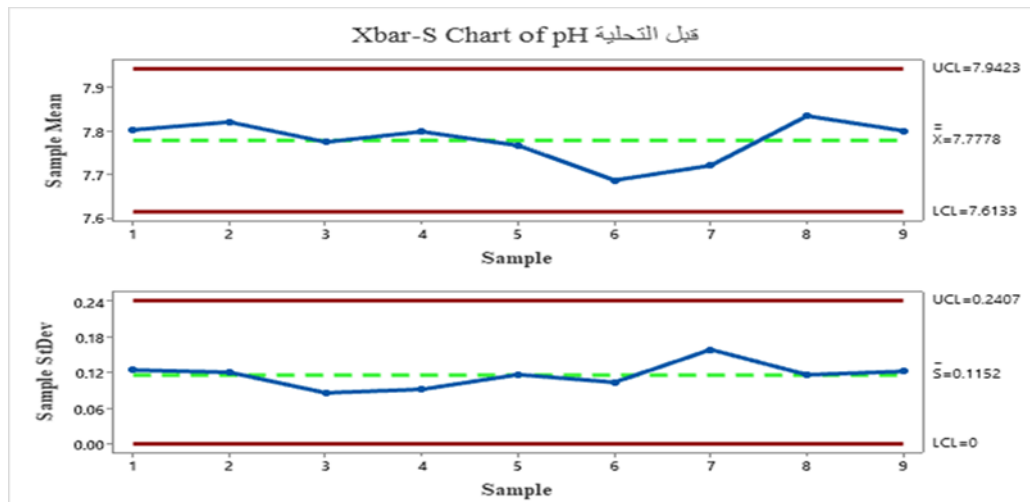
يبين وجود ارتفاع في متوسط الأملاح الذائبة الكلية قبل عملية المعالجة، مع ملاحظة التوزيع الطبيعي للعينات بخريطة المراقبة، وقد تبين انخفاض متوسط مجموع الأملاح الذائبة الكلية إلى المستوى الطبيعي بعد عملية المعالجة، مع ملاحظة أن عملية المعالجة خارج السيطرة وذلك لخروج العينة رقم (7)، مما يبين وجود حادث عرضي أثر على عملية المعالجة. بيانات الموقع الثاني - الوحدة الصناعية.

جدول (3) بيانات الموقع الثاني

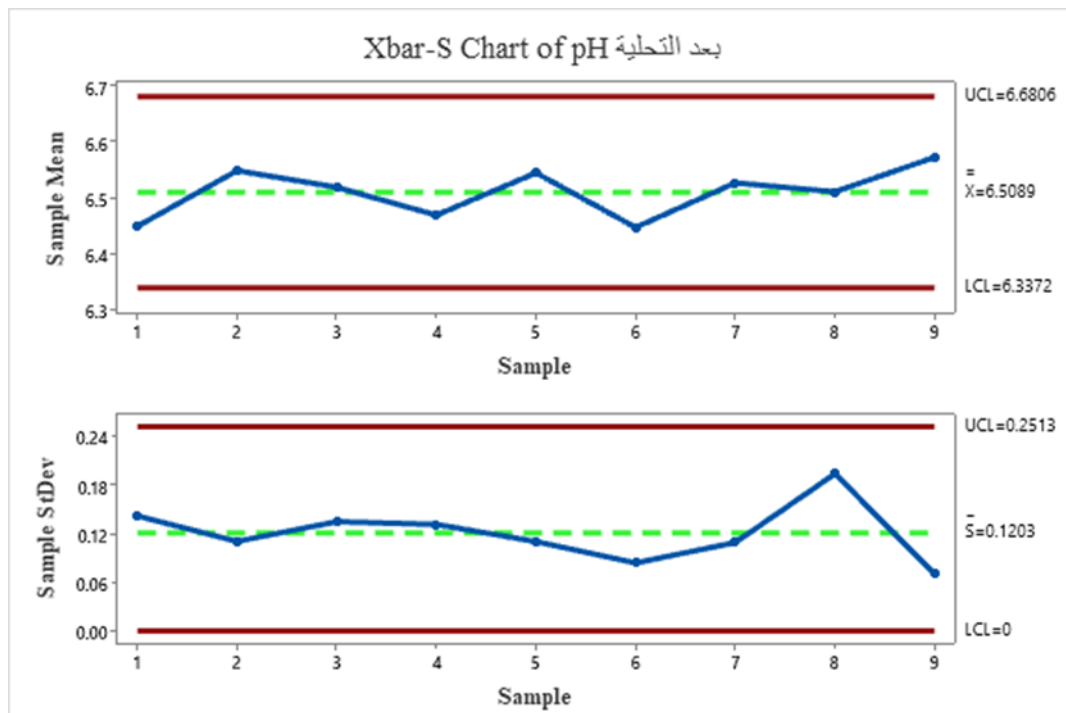
التاريخ	الموقع	pH قبل التحلية	pH بعد التحلية	TDS قبل التحلية	TDS بعد التحلية
5/1/2025	Site 2	7.62	6.44	999.2	25.1
5/2/2025	Site 2	7.85	6.41	931.9	26.5
5/3/2025	Site 2	7.95	6.69	972.7	24.7
5/4/2025	Site 2	7.75	6.37	966.3	26.5
5/5/2025	Site 2	7.84	6.33	986.9	24.5
5/6/2025	Site 2	7.77	6.47	956.4	25
5/7/2025	Site 2	7.94	6.41	943.8	23
5/8/2025	Site 2	7.91	6.57	949.4	24.2
5/9/2025	Site 2	7.64	6.69	926.2	22.9
5/10/2025	Site 2	7.84	6.6	991	24.5
5/11/2025	Site 2	7.65	6.35	975.4	27.4
5/12/2025	Site 2	7.76	6.63	990.4	23.2
5/13/2025	Site 2	7.86	6.64	1007.8	25.9
5/14/2025	Site 2	7.85	6.57	963.4	27.1
5/15/2025	Site 2	7.75	6.4	1015.7	24.8
5/16/2025	Site 2	7.71	6.65	978.3	24.1
5/17/2025	Site 2	7.78	6.55	1008.3	26.2

5/18/2025	Site 2	7.75	6.44	992	24.6
5/19/2025	Site 2	7.8	6.36	1004.1	27.2
5/20/2025	Site 2	7.95	6.34	985.8	25.8
5/21/2025	Site 2	7.73	6.67	994.3	26.5
5/22/2025	Site 2	7.61	6.55	1011.3	25
5/23/2025	Site 2	7.83	6.41	983.6	25
5/24/2025	Site 2	7.74	6.63	998.6	25.6
5/25/2025	Site 2	7.92	6.46	945.6	23.5
5/26/2025	Site 2	7.87	6.48	923.5	23.9
5/27/2025	Site 2	7.65	6.46	978	25.9
5/28/2025	Site 2	7.63	6.3	928.2	25.8
5/29/2025	Site 2	7.65	6.48	938.8	25.4
5/30/2025	Site 2	7.63	6.51	994.9	25.1
5/31/2025	Site 2	7.63	6.49	934.6	22.9
6/1/2025	Site 2	8	6.6	990	23.3
6/2/2025	Site 2	7.69	6.6	1003.6	23.2
6/3/2025	Site 2	7.65	6.35	952	19.6
6/4/2025	Site 2	7.63	6.59	974.5	25.2
6/5/2025	Site 2	7.89	6.62	997	23.9
6/6/2025	Site 2	7.65	6.3	946	23
6/7/2025	Site 2	7.93	6.69	928.7	24.2
6/8/2025	Site 2	7.91	6.3	953	25.6
6/9/2025	Site 2	7.79	6.64	940.6	25.5
6/10/2025	Site 2	7.63	6.56	968.2	26
6/11/2025	Site 2	7.94	6.64	971.7	23.6
6/12/2025	Site 2	7.79	6.58	994.4	23.2
6/13/2025	Site 2	7.75	6.62	1002.8	23
6/14/2025	Site 2	7.89	6.46	942.6	26.4

في الموقع الثاني، كان متوسط pH قبل التحلية 7.78، وانخفض إلى حوالي 6.53 بعد التحلية، مع تقريباً ثبات تركيز TDS عند مستويات منخفضة جداً حيث انخفض من متوسط 974 ملغم/لتر إلى حوالي 25 ملغم/لتر. يعكس هذا الأداء جودة عالية لوحدية التحلية الصناعية في إزالة الأملاح، لكن بعض قراءات pH بعد التحلية قريبة أو أقل قليلاً من الحد الأدنى للمعايير.



الشكل (5) يوضح بيانات تحليل نسبة pH في الموقع الثاني قبل التحلية



الشكل (6) يوضح بيانات تحليل نسبة pH في الموقع الثاني بعد التحلية

تم إجراء تحليل إحصائي لمتغير pH باستخدام خريطة X-S بناءً على تقسيم البيانات إلى 9 مجموعات فرعية، كل منها تحتوي على 5 قراءات أي أن (n=5)، وذلك لمراقبة سلوك المياه قبل وبعد عملية التحلية.

تحليل ومناقشة نتائج الرقم الهيدروجيني (pH).

1. قبل التحلية:

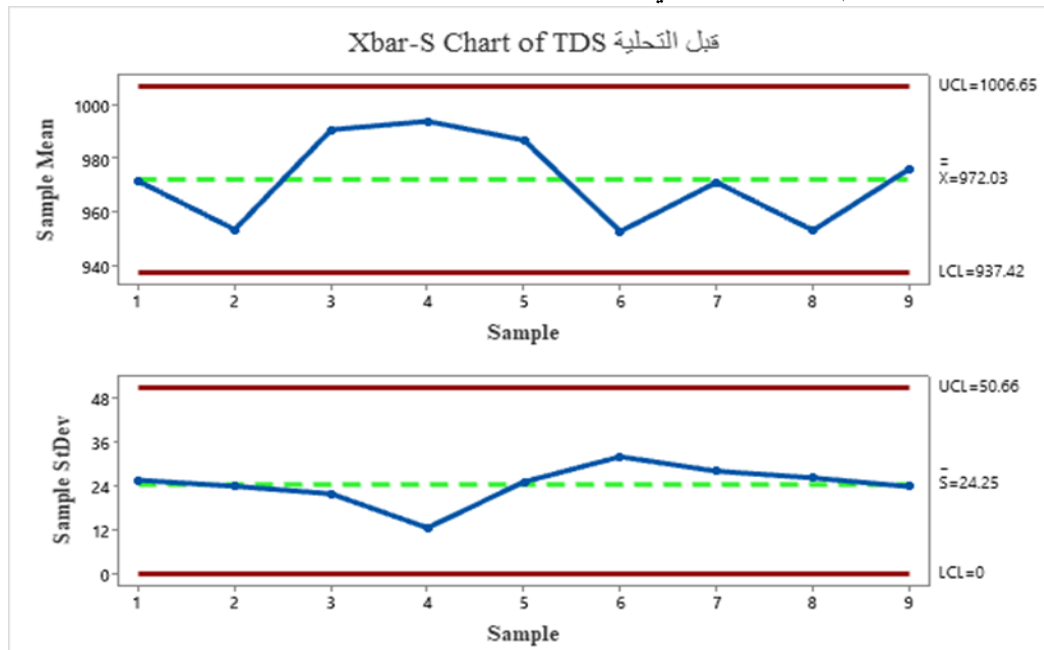
يُظهر مخطط المتوسط (X-) أن المتوسط العام للعينات = 7.7778، وجميع المتوسطات ضمن حدود التحكم (UCL = 7.9423، LCL = 7.6133)، مع تذبذب طبيعي وظهور أدنى قيمة عند العينة رقم (6). أما مخطط الانحراف المعياري (S) فالقيم جميعها داخل النطاق مع UCL = 0.2407 ودون إشارات لتباين غير طبيعي، بما يدل على تجانس جيد للقراءات واستقرار العملية قبل التحلية.

2. بعد التحلية:

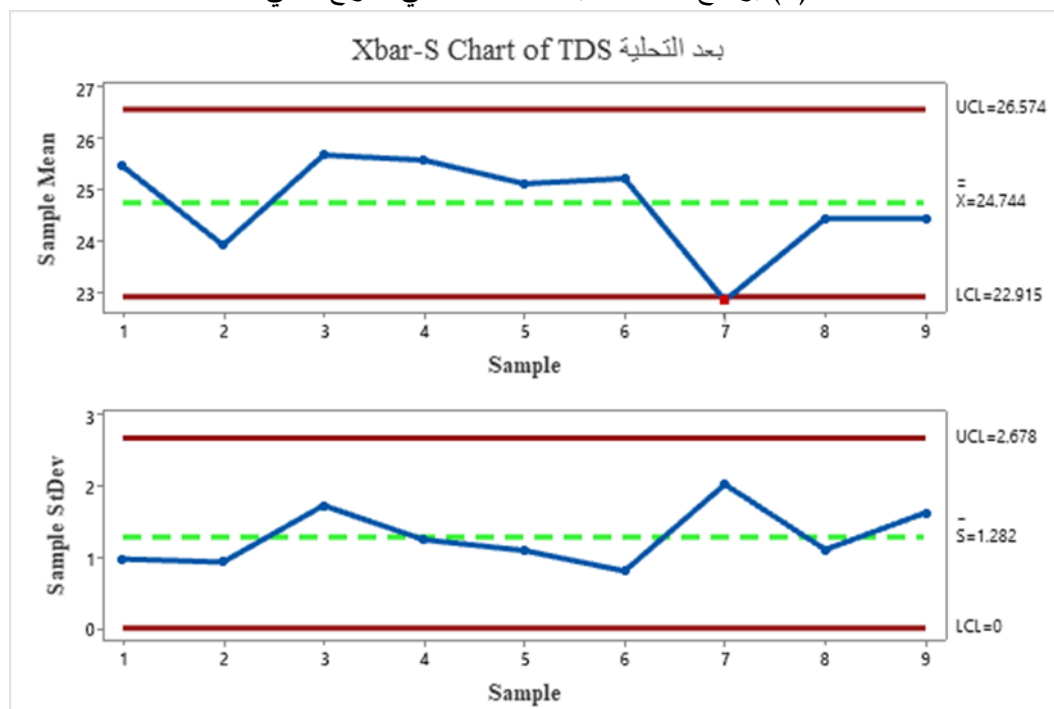
انخفض متوسط pH إلى $X = 6.4833$ ، مع زيادة طفيفة في التشتت؛ إذ ارتفع متوسط الانحراف المعياري من 0.1089 إلى 0.1141، ورغم ذلك بقيت جميع النقاط داخل حدود السيطرة الإحصائية، ما يعكس استمرار استقرار العملية بعد المعالجة.

3. التحليل المقارن بين المرحلتين

يشير المقارنة إلى انتقال قيم pH من قلوية خفيفة قبل المعالجة إلى قيم أقرب للتعادل بعد التحلية، مع استقرار إحصائي واضح في المرحلتين؛ ما يدعم كفاءة المعالجة في تعديل خاصية الحموضة دون إحداث تقلبات غير مسيطر عليها.



الشكل (7) يوضح بيانات تحليل نسبة TDS في الموقع الثاني قبل التحلية



الشكل (8) يوضح بيانات تحليل نسبة TDS في الموقع الثاني بعد التحلية

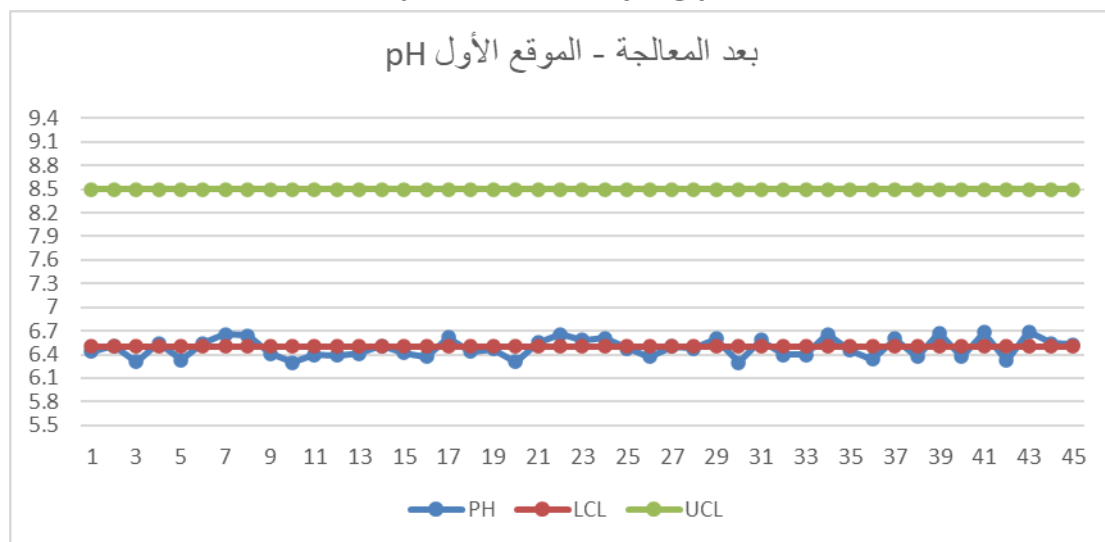
من خلال تحليل مخططات التحكم X-S الخاصة بإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) للموقع الثاني قبل وبعد التحلية.

تحليل ومناقشة نتائج المواد الصلبة الذائبة (TDS).

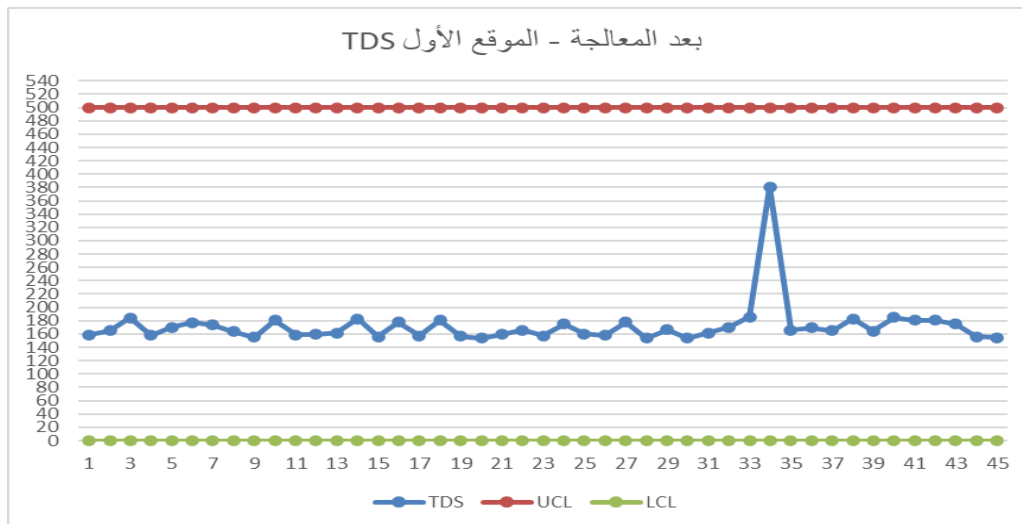
1. قبل التحلية: بلغ المتوسط العام $X^- = 972.03 \text{ mg/L}$ ضمن حدود التحكم ($UCL = 1006.65$ ، $LCL = 937.42$). وبين مخطط S أن $S^- = 24.25$ مع حدود ($UCL = 50.66$ ، $LCL = 0$)، وكل القيم داخل الحدود؛ مع تذبذبات طبيعية وارتفاع العينات (3، 4، 5) فوق المتوسط. يدل ذلك على استقرار العملية إحصائيًا قبل المعالجة رغم ارتفاع المستوى النسبي للملوحة.
2. بعد التحلية: انخفض المتوسط العام إلى $X^- = 24.744 \text{ mg/L}$ ضمن حدود التحكم ($UCL = 26.574$ ، $LCL = 22.915$). وبلغ متوسط الانحراف المعياري $S^- = 1.282$ بحدود ($UCL = 2.678$ ، $LCL = 0$)، مع ملاحظة وقوع العينة رقم (7) على الحد الأدنى LCL تمامًا، بينما بقيت بقية المتوسطات والانحرافات ضمن السيطرة، ما يؤكد استقرار العملية بعد التحلية.
3. التحليل المقارن بين المرحلتين: يُظهر انخفاضًا كبيرًا جدًا في تركيز TDS بعد التحلية مع استمرار الانضباط الإحصائي قبل وبعد المعالجة؛ وهو ما يبرهن على كفاءة منظومة التحلية في خفض الأملاح الذائبة وتحسين جودة المياه دون إدخال أنماط تباين غير طبيعية.

توزيع العينات للموصفة:

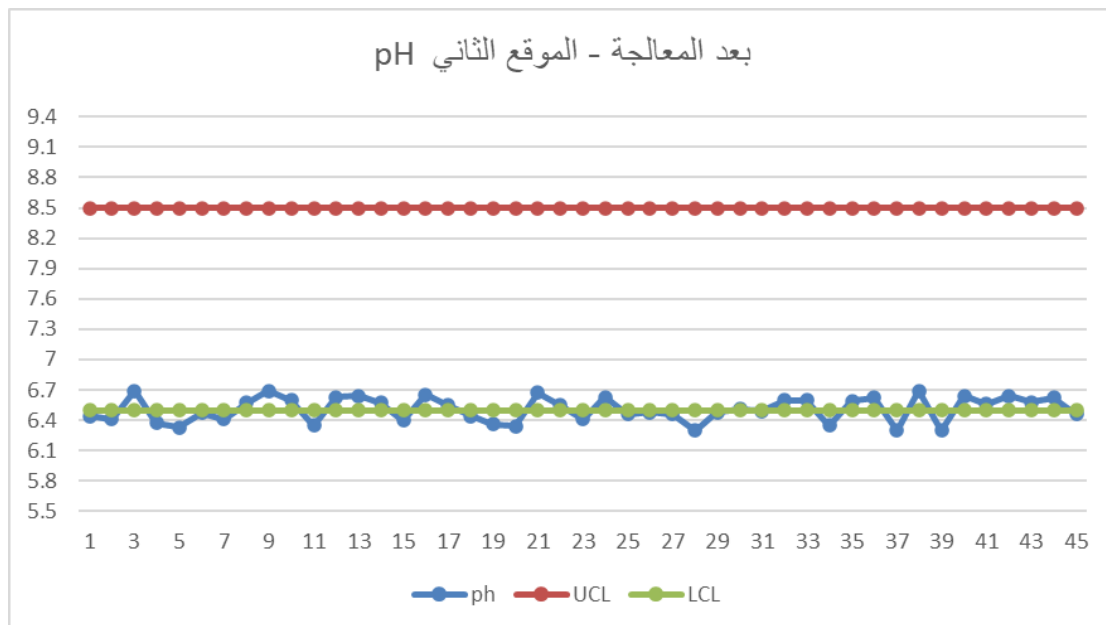
تبين الاشكال التالية توزيع العينات باستخدام المتوسط الحسابي للعينات بعد المعالجة، وذلك بمقارنتها مع الحدود المسموح بها وفق الموصفة الليبية لمياه الشرب



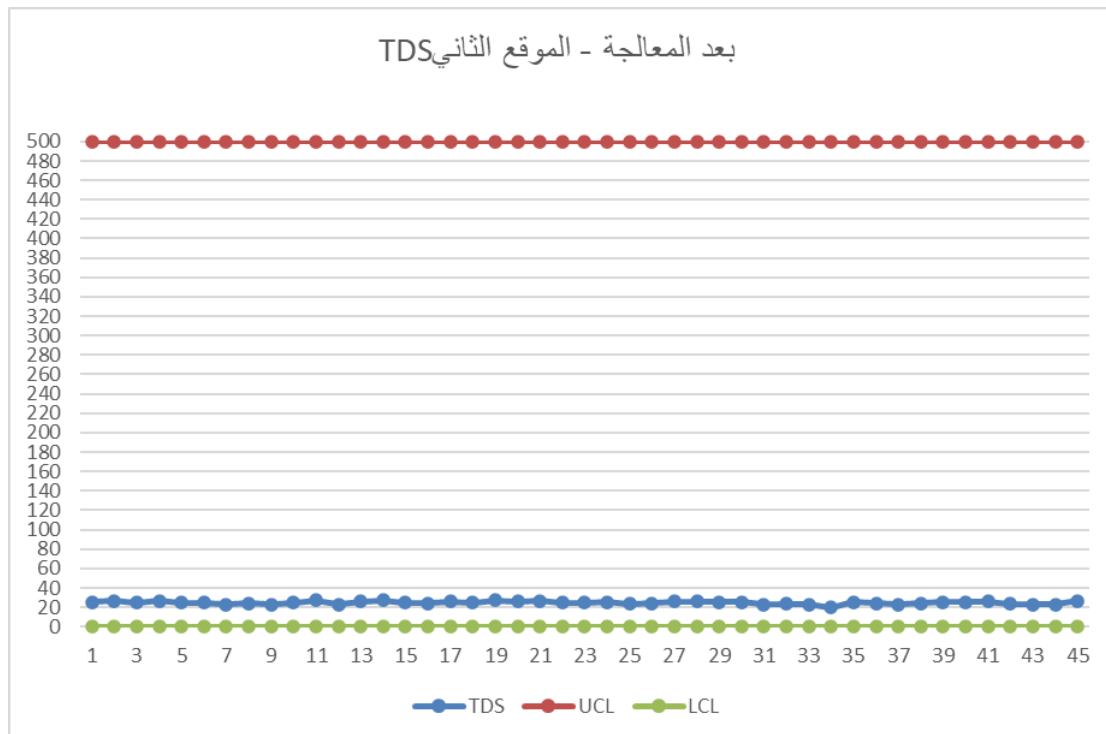
الشكل (9) يبين توزيع الرقم الهيدروجيني (PH) بعد المعالجة في الموقع الاول مقارنة بالحدود القياسية (6.5- 8.6).



الشكل (10) يبين توزيع قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) بعد المعالجة في الموقع الاول مقارنة بالحد الاقصى المسموح به (500mg/L).



شكل (11) يبين توزيع قيم الرقم الهيدروجيني (PH) بعد المعالجة في الموقع الثاني مقارنة بالحدود القياسية (6.5-8.5).



شكل (12) يبين توزيع قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) بعد المعالجة في الموقع الثاني مقارنة بالحد الأقصى المسموح به (mg/L500).

تشير نتائج التحاليل إلى أن قيم الرقم الهيدروجيني (pH) بعد عملية التحلية كانت جميعها ضمن الحد الأعلى المسموح به (8.5)، إلا أن بعض العينات أظهرت انخفاضاً ملحوظاً عن الحد الأدنى (6.5) المحدد في المواصفات القياسية، وهو ما يعكس وجود خلل جزئي رغم استقرار العملية. أما بالنسبة لقيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) فقد أظهرت جميع القراءات بعد التحلية انخفاضاً واضحاً إلى ما دون الحد الأعلى المسموح به (500 mg/L)، مما يؤكد فعالية وحدة المعالجة في تقليل الأملاح الذائبة وتحسين جودة المياه.

وتوضح خرائط مراقبة الجودة الإحصائية (X-S Charts) أن العملية التشغيلية تسير تحت السيطرة الإحصائية وينسق منتظم، دون تسجيل أي حالات انحراف خارج حدود الضبط، الأمر الذي يشير إلى أن النظام يعمل بكفاءة واستقرار. غير أن استمرار بعض القيم في تجاوز المواصفة الدنيا لـ pH، على الرغم من استقرار العملية، يكشف عن وجود إشكالية تتعلق بعملية الضبط والمعايرة الفنية لوحدة التحلية أو بكفاءة الفلتر نفسه. وعليه، فإن هذا الوضع يستدعي إجراء معايرة دقيقة ومراجعة دورية لمكونات النظام، لضمان مطابقة المياه المنتجة للمواصفات القياسية بشكل كامل، وتعزيز موثوقية العملية على المدى الطويل.

الخلاصة:

استناداً إلى التحاليل الميدانية والنتائج الإحصائية لعينات المياه المأخوذة من الموقعين (وحدة تحلية صناعية ووحدة تحلية منزلية بمنطقة العلالقة - صبراتة)، يمكن تلخيص أهم الاستنتاجات فيما يلي:

1. كفاءة وحدات التحلية في إزالة الأملاح:

حققت كلتا وحدتي التحلية (الصناعية والمنزلية) فعالية كبيرة في خفض تركيز المواد الصلبة الذائبة (TDS) من مستويات مرتفعة (أكثر من 900 وصولاً إلى ما يقارب 2000 ملغم/لتر) إلى مستويات ضمن أو أقل بكثير من الحدود المسموح بها للمواصفة الليبية والعالمية (عادة أقل من 500 ملغم/لتر). هذه النتيجة تدل على كفاءة العمليات الفيزيائية والكيميائية المستخدمة في وحدات التحلية.

2. تغيرات قيمة الأس الهيدروجيني (pH):
 - لوحظ انخفاض واضح في قيم pH بعد عملية التحلية في كلا الموقعين، حيث اقتربت بعض القراءات بعد التحلية من الحد الأدنى أو تجاوزته نزولاً (أقل من 6.5)، وذلك رغم بقاء جميع القيم قبل التحلية ضمن حدود القبول.
 - يعزى هذا الانخفاض إما إلى امتصاص المياه لثاني أكسيد الكربون أو خصائص وحدات التحلية المستخدمة.
3. استقرار عمليات التحلية:
 - أظهرت خرائط الجودة (X-S) أن العمليات كانت مستقرة إحصائياً في معظم فترات الرصد، مع ظهور بعض القيم الشاذة الفردية (خاصة في نتائج TDS بعد التحلية أو قراءات pH المنخفضة).
 - الانحرافات المعيارية للعينات عموماً منخفضة، ما يعني وجود قدر عالٍ من الوثوقية في نتائج القياسات ونظام العمل.
4. مطابقة النتائج للمعايير القياسية:
 - أغلب العينات بعد التحلية تطابق حدود المواصفة من حيث TDS، أما بالنسبة لـ pH فرغم وجود بعض القراءات تحت الحد الأدنى، إلا أن الغالبية بقيت ضمن النطاق المقبول، وهو ما يدل على جودة عالية للمياه المعالجة عموماً مع ضرورة مراقبة مستمرة لتجنب انخفاض pH مستقبلاً.
5. وجود بعض القيم الشاذة:
 - سجّل في العينات الفردية بعض القيم الشاذة مثل ارتفاع TDS في عينة واحدة بشكل غير معتاد، ما يشير للحاجة الدائمة للمراجعة والتحقق المختبري في حال ظهور مثل هذه النتائج.
6. دقة وصلاحية منهجية المراقبة الإحصائية:
 - أثبتت خرائط مراقبة الجودة فعاليتها في الكشف المبكر عن الانحرافات ومتابعة تحسّن جودة المياه بشكل مستمر، مع إمكانية التمييز السريع بين التغيرات الطبيعية والطارئة داخل النظام.

المراجع

1. المشريقي، والطويل. (2024). دور خلط مياه التحلية مع المياه الجوفية في توفير المياه بالمواصفات والكميات المطلوبة. *مجلة الأكاديمية للعلوم الأساسية والتطبيقية (AJBAS)*، 12، 6(2).
2. الضراط، الدنفور، مريويص، أبو شرخ، القايد، وأبوختالة. (2020). تقدير الأملاح الكلية الذائبة والتوصيل الكهربائي والكلوريد في عينات من بعض الآبار الجوفية القريبة من مصنع الحديد والصلب مصراتة. *مجلة البحوث الأكاديمية (العلوم التطبيقية)*، 16، 89-104.
3. الزوالي، البشير منصور، عمر، عبد الناصر البشير، الجالي، سناء رمضان، زيادة، سالم، أنطاط، أريج، & صالح، هشام. (2019). تقدير تركيز بعض الأيونات في مياه الشرب المنتجة في وحدات معالجة المياه ببلدية غريان. في *وقائع المؤتمر السنوي الثالث حول النظريات والتطبيقات (عدد خاص)* (ص ص 183-193). جامعة غريان، ليبيا.
4. حسين، أ. إ. (2019). استخدام خرائط الجودة للرقابة على جودة مياه الشرب: دراسة حالة العراق. *مجلة الإدارة والاقتصاد*، 25(115)، 287-302.
5. انتصار فدم، 2018، استعمال خرائط مراقبة السيطرة لقياس جودة الطالب الجامعي في العملية التعليمية، *المجلة العالمية للاقتصاد والاعمال*، مجلد (5)، العدد (3).
6. Mustafa Ahmed Ben Hloma, 2023, Using Statistical Control and Pareto Charts for Monitoring and Quality Control of Tin Roll Production: An Applied Case on The Hot

Rolling Mill of the Libyan Iron and Steel Company, African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS), Volume 2, Issue 4.

7. Algharably, A. A., Bin Wali, H. A., Ezhani, A. A. A., Flafel, H. M., & Alhamoudi, A. A. (2021). *Assessment of groundwater quality for drinking by water quality index (WQI) in Sabratha city, Libya*. Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology, 3(2), 38–43.