تقييم تأثير المعاملة بالأوزون على الخواص الميكروبية والحسية لمياه الشرب

حنان قُربي [1*]

[1] قسم علوم الأغذية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب، حلب، سورية.

(*للمراسلة: د. حنان قُربي، البريد الالكتروني hanansrn76@gmail.com، هاتف 0988944300).

تاريخ الاستلام: 22/ 03/ 2025 **تاريخ القبول:** 21/ 07/ 2025

الملخّص

هدف البحث إلى تقييم تأثير المعاملة بالأوزون على الخواص الميكروبية والحسية لمياه الشرب المأخوذة من عدة وحدات سكنية تابعة للمدينة الجامعية في جامعة حلب. ونفّذ البحث في الفترة الممتدة من شهر حزيران حتى شهر أيلول لعام 2024 في مخبر الميكروبيولوجيا في قسم علوم الأغذية في كلية الهندسة الزراعية بجامعة حلب. أظهرت النتائج أن 33.33% من عينات المياه المدروسة مطابقة للمواصفة القياسية السورية لانخفاض حمولتها الميكروبية الأولية ولغياب البكتريا القولونية البرازية وE.coli والخمائر والفطور فيها، في حين كانت 66.66% من العينات غير صالحة للشرب لارتفاع حمولتها الميكروبية الأولية وتلوثها بالبراز نتيجة حدوث تسريب من أنابيب الصرف الصحي إلى شبكات مياه الشرب أو لحدوث تلوث أثناء عمليات النقل والتعبئة. وكان تأثير معاملة العينات بالأوزون بتركيز 0.3L\g ولمدة 15 دقيقة ايجابياً فقد خفّضت المعاملة بالأوزون تعداد البكتريا القولونية الكلية في العينات (S2,S3,S6,S7,S8,S9) بنسبة (4,16,4,14,33.3,33) % على التوالي، أما بالنسبة للبكتريا البرازية فانخفض تعدادها في العينات السابقة بنسبة (100,5.5,100,5,100,100) % على التوالي، وتم القضاء على الخمائر والفطور بشكل تام وبنسبة 100% مما حوّل عينات المياه غير المطابقة للمواصفة إلى عينات مطابقة وصالحة للشرب. وتم عزل وتصنيف بعض الأحياء الدقيقة الممرضة المنقولة عن طريق مياه الشرب حيث بلغ عدد العزلات 42 عزلة من البكتريا المعوية وكانت الأشيريكية القولونية بنسبة 26% والزائفة الزنجارية بنسبة 14% والكليبسيلا بنسبة 7%. ولم تؤثر المعاملة بالأوزون بتركيز 0.3L\g لمدة 15 دقيقة على الخصائص الحسية لعينات المياه المدروسة.

الكلمات المفتاحية: مياه الشرب، الأوزون، البكتريا الممرضة، الجودة الميكروبية.

المقدمة:

تعد جودة المياه من القضايا الحيوية المهمة والتي تؤثر على صحة الإنسان والبيئة، حيث تشكل الملوثات الميكروبية بشكل خاص تهديداً كبيراً للاستخدام الآمن للمياه. ومن أجل ضمان سلامة المياه يتم استخدام تقنيات متعددة لتعقيمها، ومن بين هذه التقنيات استخدام الأوزون (O3) كعامل تعقيم فعّال. حيث يعد الأوزون من العوامل المؤكسدة القوية التي تتميز بقدرتها على القضاء على الكائنات الحية الدقيقة، دون ترك بقايا كيميائية ضارة (Gomes *et al*., 2017). اكتشف الأوزون (O3) العالم Christian Friendrich Schonbein عام 1839 واستخدم لأول مرة تجارياً لمعاملة مياه الشرب في فرنسا منذ أكثر من قرن (Rubin

(2001،، وهو أوكسجين ثلاثي الذرات يتكون من أوكسجين الجذور الحرة المضافة إلى الأوكسجين الجزيئي (O'Donnell *et al*., 2013). ويتمتع الأوزون بالعديد من المزايا التي تجعل منه تقنية يجب أخذها بعين الاعتبار والسبب في ذلك يعود إلى أنه معقم قوي ويتحلل بسرعة إلى أوكسجين دون ترك أي آثار (Khadre *et al*., 2001). يوجد العديد من أنظمة معالجة المياه في العالم والتي تستخدم الأوزون اليوم مثل فرنسا وكندا وسويسرا وإيطاليا وألمانيا والمملكة العربية السعودية وبيلاروسيا وغيرها، حيث حصلت الولايات المتحدة الأمريكية عام 2005 على براءة اختراع في طريقة تعقيم شبكات إمدادات المياه باستخدام الأوزون (Schulz and Lohman, 2005ناقش وانغ وزملاؤه (Wang *et al*., 2022) التطبيقات الحديثة للأوزون في معالجة المياه (Romanovsky *et al*., 2013 ; المياه، بما في ذلك استخدامه في أنظمة المياه المحلية والصناعية وأنه يمكن أن يكون جزءاً من نظام متكامل لمعالجة المياه، خاصة عندما يتم دمجه مع تقنيات أخرى مثل الأشعة فوق البنفسجية ويعد استخدام الأوزون في تعقيم المياه موضوعاً هاماً نظراً لفعاليته وكفاءته في القضاء على الميكروبات حيث يتميز الأوزون بفعاليته العالية في تعقيم المياه مقارنة بطرق التعقيم التقليدية مثل الكلورة، ولا ينتج عنه مركبات ثانوية ضارة مثل ثلاثي هالوميثان (THMs) والتي ترتبط بمخاطر صحية. بالإضافة إلى ذلك، يعمل الأوزون على تحسين خصائص المياه من خلال إزالة الروائح والألوان غير المرغوب فيها (Von Gunten, 2003). وأثبتت العديد من الدراسات أن عمليات التعقيم بالكلور تشكل خطراً على الصحة العامة بسبب المركبات الثانوية التي تنتج خلال المعالجة فضلاً عن اظهار بعض الأنواع البكتيرية كبكتريا القولون البرازية والأشريكية القولونية والزائفة الزنجارية مقاومة للتعقيم بالكلور، كما تعزز هذه العملية قابلية الأجناس على تبادل جينات المقاومة للمضادات الحيوية (Huding *et al*., 2020). أجريت دراسة لمعرفة فعالية الأوزون في القضاء على الفيروسات مقارنةً بالكلور أظهرت نتائجها أن الأوزون يؤثر بشكل كبير على فيروس كورونا من خلال تثبيطه لتكاثر الفيروس في المياه (Duan *et al*., 2022). وفي دراسة حول فعالية الأوزون في تثبيط الأحياء الدقيقة والفيروسات في المياه المعاملة به أظهرت النتائج أن الأوزون يمكن أن يقلل من مستويات البكتيريا والفيروسات بنسبة قد تصل إلى 99.9 % في وقت قصير وذلك بسبب قدرته على الأكسدة العالية مما يؤدي إلى تحطيم جدران خلايا الكائنات الحية الدقيقة (Gomes *et al*., 2021). لقد ثبت أن الأوزون يدمر الفيروسات التي تسبب التهاب الكبد أ والأنفلونزا والتهاب الفم الحويصلي والتهاب القصبة الهوائية المعدي في الماشية نتيجة لتلف جزيئات البروتين والببتيدوغليكان في الفيروس، وهو فعال بنفس القدر في القضاء على عدة سلالات من العاثيات وعلى الكائنات الحية الدقيقة إيجابية وسالبة الغرام مثل *Salmonella typhimurium Yersinia enterocolitica* (Wysok *et al*., 2006). وتبين من خلال الدراسات أن البكتيريا مثل *Pseudmonas aeruqinosa Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Bacillus cereus, Bacillus megaterium, Salmonella typhimurium, Shigella flexneri* كانت حساسة للماء المعامل بالأوزون تحت ظروف مختلفة (Restaino *et al*., 1995). وأظهر استخدام الأوزون في أنظمة معالجة المياه قدرة على تثبيط الأحياء الدقيقة وبينت النتائج أنه يمكن استخدام الأوزون كبديل صديق للبيئة مقارنة بالطرق التقليدية مثل الكلور (Meyer *et al*., 2023) وأجريت دراسة بهدف المقارنة بين استخدام الأوزون والكلور في تعقيم المياه، وخلصت إلى أن الأوزون هو الأكثر فعالية في القضاء على الكائنات الحية الدقيقة دون إنتاج مركبات ثانوية ضارة كالتي ينتجها الكلور (Zhang *et al*., 2019). وحول تأثير تعقيم المياه بالأوزون على الخواص الحسية للمياه وجد أن تعقيم المياه بالأوزون يمكن أن يقلل من المركبات العضوية المتطايرة والتي تسبب الطعم والرائحة غير مرغوب فيها (Zhang *et al*., 2020). ووجد أن الأوزون يحسن الخواص الحسية العامة للمياه عن طريق تقليل العكارة وإزالة المركبات العضوية المسببة للطعم والرائحة (Kumar *et al*., 2021). ووفقاً لدراسة (Wang *et al*., 2019) فإن الأوزون فعّال في إزالة اللون الناتج عن المركبات العضوية الذائبة في المياه.

وأظهرت دراسة أجراها (Langlais *et al*., 1991) أن الأوزون يقلل من الطعم المرتبط بالمركبات العضوية مثل الجيوسمين (Geosmin) والميثيل أيزوبورنيول (MIB) والتي تسبب طعماً ترابياً في المياه.

أهمية البحث ومبرراته:

تعد المياه الملوثة تبعاً لتقارير منظمة الصحة العالمية السبب الرئيسي وراء التسبب في أمراض ووفيات كثيرة في جميع أنحاء العالم، ولأن الطرق التقليدية لتنقية المياه إما باهظة الثمن أو ذات كفاءة محدودة. وقد وجد بعد سنوات طويلة من استخدام الكلور في تعقيم المياه أنه يترك آثاراً ضارة بصحة الإنسان. لذلك، هناك حاجة متزايدة لطريقة فعّالة لمعالجة المياه. وبما أن غاز الأوزون من المؤكسدات القوية، التي تتميز بفعالية كيميائية كبيرة في التأثير على الفيروسات والبكتريا والقضاء عليها، وفي التخلص من العوالق ومسبّبات التلوث، كما تساعد في تحسين جودة المياه بإزالة الروائح والطعوم غير المرغوب فيها، ويتم استخدام تقنية تعقيم المياه بالأوزون في أغلب دول العالم كبديل لطرق التعقيم الأخرى لأنها تقنية آمنة وصديقة للبيئة فهي لا تترك أي آثار كيميائية خلفها على عكس التعقيم بالكلور. وأجريت هذه الدراسة للتحري عن التلوث الميكروبي لمياه الوحدات السكنية الجامعية والبحث عن تقنية آمنة وفعالة وغير مكلفة لتلافي هذا التلوث في حال حدوثه بهدف الحفاظ على صحة وسلامة الطلاب من الأمراض المنقولة عن طريق الماء خصوصاً في أشهر الصيف حيث ترتفع معدلات التسمم والعدوى الغذائية.

أهداف البحث:

1. التحري عن التلوث البكتيري في عينات مياه الشرب المدروسة ومدى مطابقتها للمواصفات القياسية السورية.
2. دراسة كفاءة وفعالية الأوزون في تعقيم مياه الشرب وذلك من خلال القضاء على الأحياء الدقيقة الموجودة في المياه.
3. عزل وتصنيف بعض الأحياء الدقيقة الممرضة المنقولة للإنسان عن طريق مياه الشرب.
4. دراسة تأثير الأوزون على الخصائص الحسية للمياه بعد التعقيم.

مواد البحث وطرائقه:

عينات البحث وطريقة أخذها: تم الحصول على عينات مياه الشرب من تسع وحدات سكنية تابعة للمدينة الجامعية في جامعة حلب خلال الفترة الممتدة من شهر حزيران حتى شهر أيلول من عام 2024 وبمعدل ثلاث عينات من كل وحدة. بداية تم فك فلتر الصنبور ونظف بشكل جيد ثم وضع في كأس فيه كلور للتعقيم، ثم غطست فوهة الصنبور بكأس فيه كحول (للتعقيم) لمدة ثلاث دقائق، ثم فتح صنبور المياه لمدة ثلاث دقائق، وبعدها تم أخذ العينات ضمن عبوات زجاجية معقمة وأعطيت العينة الرمز (S) وتم ترقيم العينات ونقلها ضمن حافظة مبردة إلى المخبر. حيث تم إضافة مادة 0.1% ثيو كبريتات الصوديوم للعينات لوقف تأثير الكلور المضاف لمياه الشرب على الحمولة البكتيرية للمياه، وقسمت كل عينة إلى قسمين، قسم بدون معاملة بالأوزون وتم اجراء الاختبارات الميكروبية المطلوبة له، وقسم تم معاملته بالأوزون بواسطة جهاز توليد الأوزون بوضع المضخة في أسفل قاع العبوات محكمة الاغلاق ومن ثم تم ضخ الأوزون بتركيز 0.3 g\L ولمدة 15 دقيقة ثم تم اجراء الاختبارات الميكروبية والحسية بعد المعاملة بالأوزون ومقارنة النتائج مع نتائج العينات غير المعاملة.

المواد والأجهزة المستخدمة في البحث:

- المواد المستخدمة هي: أطباق بتري، صبغة غرام، أوساط زرعية تخصصية وهي:

NA (Nutrient Agar)، MacA (Macckoncy Agar)، PDA (Potato Dextrose Agar) إنتاج شركة (Merck)، EMB (Eusin Methylene Blue) إنتاج شركة (Sigma-Aldrish)

- الأجهزة المستخدمة هي:
- جهاز توليد الأوزون من الهواء الجوي بتركيز 300ملغ\سا انتاج شركة G.G.S طراز L900
- الصاد الموصد (الأوتوغلاف) لتعقيم البيئات الزرعية (نوع summow طراز SM-280BD)
- حاضنة جرثومية (Mennert -Germany)
- مجهر ضوئي (Kruss -Germany)

الاختبارات:

الاختبارات الميكروبية:

-حساب العدد الكلي للبكتيريا الهوائية Aerobic plate count: تم باستخدام طريقة التخفيف وتبدأ من (10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}) وأضيف 1 مل من كل تخفيف إلى الوسط الزرعي Nutrient Agar وحرّك بصورة دائرية ثم حضن عند درجة 37مْ لمدة 48 ساعة وتم حساب العدد الكلي للبكتريا بضرب معدل السنتمترات لكل طبقx مقلوب التخفيف للحصول على العدد الكلي معبراً عنه بوحدة تكوين مستعمرة \مل ثم مقارنتها بالحدود الميكروبية المسموح بها تبعاً للمواصفة السورية .(Houghtby *et al*., 1993).

-حساب العدد الكلي لبكتريا القولون Total coliform: تم تقدير تعداد *E.coli* باستخدام وسط Macckoncy Agar وبيئة أزرق الميثلين (EMB) للكشف عن البكتريا المخمرة وغير المخمرة لسكر اللاكتوز عن طريق صب الوسط المذكور بعد تحضيره في أطباق بتري معقمة ثم سحب 1 مل من ماء العينة ونشر على الوسط باستخدام ناشر معقم وحضنت الأطباق عند درجة 37مْ بصورة مقلوبة لمدة 48ساعة بالنسبة للكوليفورم، وعند درجة حرارة 44.5 مْ لمدة 48 ساعة بالنسبة لـ *E.coli*، وتم عد المستعمرات النامية في كل طبق (Renye *et al*., 2008). وللتأكد من أن البكتيريا التي خمرت الوسط الزرعي هي من البكتيريا المعوية تم زرعها على بيئة أزرق الميثيلن بتقنية التخطيط وإن ظهور مستعمرات بمظهر أخضر معدني لماع داكن اللون دلالة على أنها بكتيريا القولون. وللتعرف على الخصائص المظهرية للخلايا صبغت بصبغة غرام وفحصت بالمجهر الضوئي. وإن ظهور عصيات قصيرة وسميكة سالبة لصبغة غرام وغير مكونة للأبواغ هي إحدى العلامات التشخيصية المظهرية لبكتيريا القولون (APHA, 1998).

-عد بكتيريا القولون البرازية Count of Fecal Coliform Bacteria: تم نقل مستعمرة بواسطة الإبرة اللاقحة من العينات الموجبة في فحص بكتيريا القولون أعلاه إلى أنابيب درهم وحضنت عند درجة حرارة 44.5م لمدة 48ساعة، حسبت عدد الأنابيب الموجبة والتي تكون فيها الغاز ومن خلال جداول خاصة للعد الأكثر احتمالاً حسب عدد بكتيريا القولون البرازية في 1مل من العينة وتم التشخيص تبعاً لـ (Macfaddin, 2000) بدراسة الصفات المظهرية للمستعمرات النامية على الأوساط الزرعية والتي تضمنت شكلها، لونها، درجة شفافيتها وقوامها. كما درست الصفات المجهرية للخلايا المصبوغة بصبغة غرام من حيث شكل الخلايا ونوع تفاعلها مع صبغة غرام (APHA, 1998).

–تقدير عدد الخمائر والأعفان Molds & Yeasts: نقل 1مل من كل تخفيف إلى أطباق بترية حاوية على وسط Potato Dextrose Agar وحضنت الأطباق عند درجة حرارة 27 مْ لمدة 5 أيام ثم تم عد مستعمرات الخمائر والفطريات النامية لكل 1 مل من العينة (Harrigan and McCance, 1966) .

-عزل وتصنيف بعض الأحياء الدقيقة الممرضة المنقولة للإنسان عن طريق مياه الشرب: تم تلقيح 1مل من مزارع البكتيريا القولونية والبرازية على طبق أغار ماكونكي. وتوزيع المزارع بالتساوي على الطبق. ثم حُفظ الطبق في الوضع المقلوب في الحاضنة من أجل الاستمرار في النمو عند درجة حرارة 37مْ لمدة 24 ساعة فتشكلت مستعمرات بألوان مختلفة، وتم توصيف الأحياء اعتماداً

على الصفات المورفولوجية للمستعمرات النامية (Wanger *et al*., 2017). ثم فحصت تحت المجهر الضوئي لرؤية شكل الخلايا وألوانها تبعاً لتفاعلها مع صبغة غرام (Levinson, 2016).

الاختبارات الحسية:

أجريت الاختبارات الحسية (الطعم واللون والرائحة والقوام والقبول العام) باستخدام طريقة الخمس نقاط وهي أحد الأساليب المُستخدمة لتحليل الخصائص الحسية للمنتجات بناءً على خمسة معايير لقياس جودة المنتج. حيث تم اعداد استمارات خاصة بالتقييم وزعت على مجموعة من المتذوقين من أعضاء الهيئة التدريسية في قسم علوم الأغذية وتم استنتاج مجموع النقاط (Rausche *et al*., 1996)

التحليل الإحصائي :نفذ البحث وفقاً لتصميم القطاعات العشوائية الكاملة R.C.B وحللت النتائج باستخدام برنامج الحاسوب (Genestat V.12) واختبار Duncan لمقارنة المتوسطات عند أقل فرق معنوي L.S.D عند مستوى المعنوية (0.05).

النتائج والمناقشة:

نتائج الاختبارات الميكروبية لعينات المياه قبل المعاملة بالأوزون نلاحظ من النتائج الواردة في الجدول رقم (1) انخفاض الحمولة الميكروبية الأولية في العينات (S1,S4,S5) حيث بلغ التعداد العام للبكتريا الهوائية CFU/mL (350,300 ,400) على التوالي وهذه القيم تقع ضمن الحدود التي تسمح بها المواصفة القياسية السورية رقم 45 لعام 2007 والمتعلقة بالشروط العامة الواجب توفرها في مياه الشرب، في حين كانت الحمولة الميكروبية في كل من العينات (S2,S3,S6,S7,S8,S9) مرتفعة فقد بلغ التعداد العام للبكتريا الهوائية CFU/mL (2000,6700,1500,6000,5000,3500) على التوالي، وهذا يدل على وجود تلوث ميكروبي عالي مما يجعل تلك العينات غير صالحة للشرب، وهذه النتائج تتوافق مع ما توصل إليه كل من Abid *et al*., 2006; Alizai *et al*., 2008). ويعد تقدير التعداد العام من الاختبارات الهامة لأنها تكشف عن مدى التلوث الميكروبي خلال عملية التعبئة والنقل (Taylor and Geldrich, 1979) وتعطي صورة واضحة عن المخاطر الصحية الناتجة عن وجود الأحياء الدقيقة الممرضة (Lechelliera *et al.,* 1980) ولقد اشترطت منظمة الصحة العالمية WHO عام 1958 خلو مياه الشرب من الأحياء الدقيقة الممرضة.(WHO, 1973). وصنفت مياه الشرب اعتماداً على محتواها الميكروبي فالمياه التي تحوي على أقل من ^{3} 80 cfu\cm تعد مياه ذات نقاوة تامة (Prescotte *et al*., 1950). وإن غياب البكتريا القولونية البرازية و*E.coli* في العينات (S1,S4,S5) دليل قطعي على خلوها من التلوث البرازي، وتواجد البكتريا القولونية في العينات (S2,S3,S6,S7,S8,S9) بمعدل CFU\mL (1800,1100,1200,700,75,60) يعكس المستوى العالي من التلوث بالبراز وبنسبة 66.66% من إجمالي العينات، وتواجد البكتريا البرازية في العينات السابقة بمعدل CFU/mL (66,54,50,40,30,20) على التوالي يعد مؤشراً ودليلاً قاطعاً على التلوث البرازي (Harwood, 2000) وتبعاً لمعايير منظمة الصحة العالمية يجب ألا يتجاوز إجمالي عدد البكتيريا الحية والقولونية 100 CFU\mL (WHO, 2008). وإن خلو العينات (S1,S4,S5) من الخمائر والفطور مؤشر على الظروف الجيدة للتخزين والمعالجة. على عكس العينات الأخرى والتي احتوت على الخمائر والفطور مما يؤكد على ضرورة إجراء معالجات إضافية لتلافي حدوث هذا التلوث. نستنتج أن 33.33% من عينات المياه المدروسة مطابقة للمواصفة القياسية السورية و66.66% كانت غير صالحة للشرب نتيجة حدوث تسريب من أنابيب الصرف الصحي إلى شبكات مياه الشرب أو لعدم استخدام طرق التعقيم الدقيقة أو لحصول تلوث أثناء عمليات النقل والتعبئة (يحيى وآخرون، 2002).

الجدول (1): نتائج الاختبارات الميكروبية لعينات مياه الشرب المدروسة ومدى مطابقتها للمواصفة القياسية السورية

الاختبار / رقم العينة	التعداد العام CFU/ mL	القولونية الكلية CFU/ mL	*E.coli* CFU/ mL	البرازية CFU/ mL	خمائر وفطور CFU/ mL	المطابقة للمواصفة
S1	$4 \times 10^{2}{}_{a}$	Non-detective$_{a}$	Non-detective	Non-detective	0 Non-detective$_{a}$	مطابقة
S2	$2 \times 10^{3}{}_{b}$	$1.8 \times 10^{3}{}_{g}$	Non-detective	66_{a}	1_{b}	غير مطابقة
S3	$6.7 \times 10^{3}{}_{e}$	$1.1 \times 10^{3}{}_{e}$	Non-detective	54_{g}	2_{c}	غير مطابقة
S4	$3.5 \times 10^{2}{}_{a}$	Non-detective$_{a}$	Non-detective	Non-detective$_{a}$	Non-detective$_{a}$	مطابقة
S5	$3 \times 10^{2}{}_{a}$	Non-detective$_{a}$	Non-detective	Non-detective$_{a}$	Non-detective$_{a}$	مطابقة
S6	$1.5 \times 10^{3}{}_{ab}$	$1.2 \times 10^{3}{}_{f}$	Non-detective	50_{e}	1_{b}	غير مطابقة
S7	$6 \times 10^{3}{}_{de}$	$7 \times 10^{2}{}_{d}$	Non-detective	40_{d}	1_{b}	غير مطابقة
S8	$5 \times 10^{3}{}_{d}$	75_{c}	Non-detective	30_{c}	1_{b}	غير مطابقة
S9	$3.5 \times 10^{3}{}_{c}$	60_{ac}	Non-detective	20_{b}	1_{b}	غير مطابقة
l.s.d 5%	1196.1	57.56		0.8654	0.0763	

CFU/ mL: الوحدة المشكِّلة للمستعمرة/ملليلتر.

القيم المتبوعة بأحرف متشابهة في أي موضع ليس بينها فروق معنوية ($P \leq 0.05$).

نتائج الاختبارات الميكروبية لعينات المياه بعد المعاملة بالأوزون: نلاحظ من النتائج الواردة في الجدول رقم (2) أن العينات (S1,S4,S5) بعد معاملتها بالأوزون بتركيز 0.3g\L لمدة 15 دقيقة انخفض التعداد العام فيها بنسبة (58-57-54) % على التوالي وفي العينات (S2,S3,S6,S7,S8,S9) بنسبة (21-7.7-26.7-5-7-5.7)% على التوالي. وأدت معاملة عينات مياه الشرب بالأوزون إلى خفض تعداد البكتريا القولونية الكلية في العينات (S2,S3,S6,S7,S8,S9) بنسبة (33-33.3-14-4-16-4) % على التوالي. أما بالنسبة للبكتريا البرازية فانخفض تعدادها نتيجة المعاملة بالأوزون في العينات السابقة بنسبة (100-5.5-100-5-100- 100) % على التوالي. وكان للمعاملة بالأوزون الأثر الواضح في القضاء على الخمائر والفطور بشكل تام وبنسبة 100% مما انعكس ايجابياً على الجودة الميكروبية لعينات المياه وهذه النتائج تتوافق مع (Zhang *et al*., 2019; Gomes *et al*., 2021) وبالتالي نجد أن معاملة عينات المياه بالأوزون كان له أثر ايجابي في تحويل عينات المياه غير المطابقة للمواصفة القياسية إلى عينات مطابقة للمواصفة وصالحة للشرب وبنسبة 100 %.

الجدول (2): نتائج الاختبارات الميكروبية لعينات مياه الشرب بعد المعاملة بالأوزون بتركيز 0.3g\L لمدة 15 دقيقة

الاختبار / رقم العينة	التعداد العام CFU\mL	القولونية الكلية CFU\mL	E.coli CFU\mL	البرازية CFU\mL	خمائر وفطور CFU\mL	المطابقة للمواصفة
S1	217_{c}	Non-detective$_{a}$	Non-detective	Non-detective$_{a}$	Non-detective	مطابقة
S2	$4.2 \times 10^{2}{}_{f}$	75_{e}	Non-detective	Non-detective$_{a}$	Non-detective	مطابقة

S3	5.2×10^2h	1.76×10^2g	Non-detective	3c	Non-detective	مطابقة
S4	2×10^2b	Non-detectivea	Non-detective	Non-detectivea	Non-detective	مطابقة
S5	1.75×10^2a	Non-detectivea	Non-detective	Non-detectivea	Non-detective	مطابقة
S6	4×10^2e	50d	Non-detective	Non-detectivea	Non-detective	مطابقة
S7	4.5×10^2g	1×10^2f	Non-detective	2b	Non-detective	مطابقة
S8	3.5×10^2d	25c	Non-detective	Non-detectivea	Non-detective	مطابقة
S9	2×10^2b	20b	Non-detective	Non-detectivea	Non-detective	مطابقة
l.s.d 5%	0.763	0.8654		0.2546		

CFU\mL: الوحدة المشكِّلة للمستعمرة/ملليلتر.

القيم المتبوعة بأحرف متشابهة في أي موضع ليس بينها فروق معنوية ($P \leq 0.05$).

الصفات المورفولوجية لمستعمرات الأحياء الدقيقة الممرضة المعزولة: نلاحظ من الجدول رقم (3) أهم الصفات المورفولوجية للمستعمرات المعزولة التي تم الحصول عليها من عينات المياه فقد تم الحصول على 42 عزلة من البكتريا المعوية وكانت الأشيريكية القولونية *E coli* بنسبة 26% من إجمالي العزلات وهي المسبب الرئيس لإصابات المسالك البولية إذ تصيب حوالي 91% من المرضى في العالم(Levinson, 2016) وأظهرت مستعمرات وردية على وسط أغار ماكونكي وهذا يتوافق مع ماتوصل إليه (Sharmin *et al*., 2010) وكانت الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeroginosa* بنسبة 14% وهي واحدة من أكثر مسببات الأمراض شيوعاً فهي تسبب التهابات الجهاز التنفسي (Arancibia *et al*., 2002) وهي سلبية الغرام ومتحركة وعصوية الشكل وهذا يتوافق مع (Govan, 2007). أما الكليبسيلا فكانت بنسبة 7% من إجمالي العزلات وظهرت مستعمراتها بلون كريمي وهي غير متحركة وعصوية الشكل وسالبة لصبغة غرام ذات كبسولة بارزة وهذا يتوافق مع (Claus, 1992)

الجدول (3): الصفات المورفولوجية لمستعمرات الأحياء الدقيقة الممرضة المعزولة

الكائن الدقيق الممرض / الصفات المورفولوجية	*E.coli*	*Ps. aeroginosa*	*Klebsiella oxytoca*
اللون	وردية اللون	عديمة اللون	كريمية اللون
الشكل	عصوية قصيرة	عصوية	عصوية
الحركة	متحركة	متحركة	غير متحركة
صبغة غرام	سلبية	سلبية	سلبية

نتائج الاختبارات الحسية لعينات المياه المعاملة بالأوزون: وجد أن معاملة عينات المياه بالأوزون بتركيز 0.3g\L لمدة 15 دقيقة حسن من الخصائص الحسية لعينات المياه وكان التأثير ايجابياً على كل من اللون والطعم والرائحة للعينات المعاملة به وهذه النتيجة تتوافق مع (Kumar *et al*., 2021) الذي أكد على أن الأوزون يحسن من الخصائص الحسية العامة للمياه عن طريق تقليل العكارة وإزالة المركبات العضوية المسببة للون والطعم والرائحة، وتتوافق أيضاً مع (Wang *et al*., 2019) الذي أثبت أن الأوزون فعّال في إزالة اللون الناتج عن المركبات العضوية الذائبة في المياه.

الجدول (4): نتائج الاختبارات الحسية للعينات المعاملة بالأوزون بتركيز 0.3g\L لمدة 15 دقيقة

النتائج الحسية	الشاهد	العينات المعاملة بالأوزون	l.s.d 5%
اللون	4_b	4.5_a	2.48
الطعم	4_b	4.5_a	2.48
الرائحة	4_b	4.5_a	2.48
القوام	4_b	4_b	2.484
القبول العام	4_b	4.5_a	2.484
المجموع	20	22	

القيم المتبوعة بأحرف متشابهة في أي موضع ليس بينها فروق معنوية ($P \leq 0.05$).

الاستنتاجات

–وجود البكتريا القولونية البرازية و*E.coli* دليل على تلوث المياه بالبراز لعدم استخدام طرق التعقيم الدقيقة أو لحصول تلوث أو لوجود تسريب من أنابيب الصرف الصحي باتجاه أنابيب مياه الشرب

–خفضت معاملة العينات بالأوزون بتركيز 0.3g\L ولمدة 15 دقيقة الحمولة الميكروبية في العينات للحدود المسموح بها في المواصفة القياسية السورية. وحسّن الخصائص الحسية للماء.

التوصيات:

– يوصى بإجراء فحص دوري لجودة الماء بعد المعاملة بالأوزون للتحقق من الحمولة البكتيرية.

– توسيع نطاق البحث والتجارب ليشمل خزانات مصادر توريد المياه الأساسية.

– التعاون والتنسيق مع مديرية المياه ودوائر الصرف الصحي في محافظة حلب للتأكد الدوري من سلامة وأمان أنابيب التصريف والبنى التحتية.

المراجع:

إبراهيم يحيى عبد الغني، الحسين أحلام عمر علي، الراوي أكرم ثابت 2002- دراسة النوعية الميكروبية في مدينة بغداد. مجلة البيئة والتنمية المستدامة. (5) 93:2-106.

Abid, H., Alizai, M.N., Ali, J and Ibrahim M., 2006- Bacteriological analysis of drinking water of hand pumps in different schools of District Peshawar Pakistan. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 16(1-4): 34-38.7

Alizai, M N., Abid, H., Ibrahim, M., & Khan, J., 2008- Preliminary evaluation of pathogens existence in school drinking water Peshawar (Pakistan)., Pakistan *Journal of Biochemical and Molecular Biology*. 41(4): 168-171.

American Public Health Association (APHA). 1998- Standard method for the examination of water and wastewater.20thed. American Public Health Association. Washington. USA

Arancibia, F., Bauer, T.T., Ewig, S., Mensa, J., Gonzalez, J., Niederman, MS & Torres, A., 2002- Community-acquired pneumonia due to gram-negative bacteria and Pseudomonas aeruginosa incidence, risk, and prognosis. Arch Intern Med 162: 1849–1858.

Claus, D., 1992- A standardized Gram staining procedure. World Journal of Microbiology & Biotechnology, vol. 8, no. 4, pp. 451- 452. http://dx.doi.org/10.1007/BF01198764. PMid:24425522.

Duan W., Xu Y., Liu Y., & Zhang L., 2022- "Ozone inactivation of coronaviruses in water." Environmental Science & Technology.

Gomes, J.; Costa, R.; Quinta-Ferreira, R.M.; Martins, R.C., 2017-.Application of ozonation for pharmaceuticals and personal care products removal from water. Sci. Total Environ. 586, 265–283.

Gomes, S., Bedrol, V., Hakoral, W., 2021- "Ozone-based water treatment: A review of recent advances and future perspectives." Water Research, 190, 116793.

Govan, J.R., 2007-.Pseudomonas and non fermenters ,Medical Microbiology .17th ed.Churchill Livingtone Elsevier.

Harrigan, W.F.; and McCance, M.E., 1966- Laboratory Methods in Microbiology. Academic Press, New York, USA, pp. 199-228.

Harwoo, V.J., Jones, P.T., and Whitlock, J.E. (2002). Identification of the sources of fecal coliforms in an urban water shed. Water Res. 36 (17): 273- 4282.

Houghtby, G.A.; Maturin, L.J.; and Koenig, E.K., 1993- Microbial count methods. In: Standard Methods for the Examination of Dairy Products. Marshall R.T. (Ed.), Amer. Public Health Assoc., Washington, USA, pp. 213-246.

Huding, J., Sun Geun, Y., Won Hyung, L., Yong Hyun, C., Junghyup H., Junwoo P., and Youn S K., 2020- Identification of water-infiltration-induced electrical energy generation by ionovoltaic effect in porous CuO nanowire films. Energy and Environmental Science Journal, issue 10.

Khadre, M.A., Yousef , A., and Kim, J.G., 2001- Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. J. Food Sci., 66, 1242-1251.

Kumar, S., Masemeak, L., Jonathan, S., 2021- "Ozone-based water treatment: A review of its impact on sensory properties and overall water quality.

Langlais, B., Reckhow, D.A., and. Brink, D.R., 1991- Ozone in water treatment. Application and engineering. American Water Works Association Research Foundation, Lewis Publishers, Inc., Denver, Colorado.

Lechellier, M.W., Seidler, R.J., and Evans, T.M., 1980- Enumeration and characterization of stander Plate Count Bacteria in Chlorinated and Raw water Supplies:40, 922-930.

Levinson, W., 2016- Review of Medical Microbiology and Immunology. 14thed. McGraw-Hill education, Inc. PP 821.

MacFaddin J.F., 2000- Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria. 3rd Edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

Meyer J., Schmidt T., & Fuchs S., 2023- "Ozone as an alternative disinfection method in water treatment." Water Research.

O'Donnell C.;Tiwari B.; Cullen P.; Rice R., 2013- Ozone in Food Processing (Oxford, UK: Wiley-Blackwell) pp i–xii..

Prescott S.C; Winslow C.E.A.A., and Mccrady M H., 1950- "Water bacteriology", John Wiley and Sons-Inc. N.Y.

Rauscher K., Engst R., Freimuth U., 1996- Untersuchungen von Lebensmittel, VEB.

Renye, J. A.; Somkuti, G. A.; Vallejo-Cordoba, D. L.; Van Hekken and Gonzalez-Cordova A.E., 2008-. Characterization of the microflora isolated from Queso Fresco made from raw and pasteurized milk. Journal Food Safety28: 59–75.

Restaino L., Frampton E.W., Hemphill J.B. etc., 1995- Efficacy of ozonated water against food-related microorganisms. Appl. Environ. Microbiol., vol. 61, 1995, pp. 3471-3475.

Romanovsky VI., Gurinovich AD., Chaika YuN., Vavzhenyuk P., 2013- Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems Proceedings of BSTU 3 55-60.

Rubin M., 2001- The history of ozone: the Sch€onbein period, 1839-1868. Bulletin for the History of Chemistry 26 40–56.

Schulz ChR., Lohman SR., 2005- Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines, Patent Application Publication: US 2005/024963.

Taylor R.H., and Geldrich E.E., 1979- ”a new (MF) procedures for bacterial count in potable water and swimming pools sample. J.AWWA (71):402-405.

Von Gunten U., 2003- Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. Water Research,1443-1476,37(7)

Wang L., Hang M., Mangathan K l., 2019- "Impact of ozonation on the color and organic matter removal in drinking water treatment." Journal of Environmental Sciences, 75, 1-10.

Wang W.A., thanthat X.A., ivan A.S., 2022- "Advanced applications of ozone in water treatment: Integration with UV and other technologies." Science of the Total Environment, 806, 150685.

Wanger A.; Chavez V.; Huang R. S. P.; Wahed A.; Actor J. K. and Dasgupta, A., 2017- Microbiology and Molecular Diagnosis in Pathology. Elsevier Inc. All Rights Reserved. 300pp.

World Health Organization (WHO)., 1973- International standard for drinking water 3rd edition, Geneva.

World Health Organization (WHO)., 2008- *Foodborne disease outbreaks: guidelines for investigation andcontrol*.

Wysok B., Uradzinski J., Gomolka-Pawlick M., 2006- Ozone as an alternative disinfectant – a review, Polish Journal of Foodan Dnutrition Sciences 15/56, 3–8.

Zhang L., Duan W., Xu Y., Liu Y., 2019- "Comparative study of ozone and chlorine for drinking water disinfection: Efficiency, by-products, and cost analysis." Journal of Environmental Management, 231, 123-130.

Zhang L., Duan W., Xu Y., Liu Y., 2020- "Ozonation of drinking water: Effects on taste and odor compounds." Water Research, 168, 115160.

Evaluation of the Effect of Ozone treatment on the Microbial and Sensory Properties of Drinking Water

Hanan Kurabi *[1]

[1]Food Science Department, Faculty of Agriculture, University of Aleppo, Syria.

(*Corresponding author: Dr Hanan Kurabi. E-Mail: hanansrn76@gmail.com).

Received: 22/ 03/ 2025 **Accepted:** 21/ 07/ 2025

Abstract

The aim of this study was to evaluate the therapeutic effect of ozone on the microbial and sensory properties of drinking water supplied by several residential units at the University of Aleppo. The study was conducted from June to September 2024 in the Microbiology Laboratory of the Department of Food Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Aleppo. The results showed that 33.33% of the studied water samples complied with the Syrian standard specifications due to their low initial microbial load and the absence of fecal coliform bacteria, E. coli, yeasts, and fungi. However, 66.66% of the samples were unfit for drinking due to their high initial microbial load and fecal contamination resulting from leakage from sewage pipes into drinking water networks or contamination during transportation and packaging operations. The effect of treating the samples with ozone at a concentration of 0.3 g/L for 15 minutes was positive. The ozone treatment reduced the total coliform count in samples (S2, S3, S6, S7, S8, S9) by 4, 16, 4, 14, 33.3, 33%) respectively. As for the fecal bacteria, their count decreased in the previous samples by (100, 5.5, 100, 5, 100, 100)% respectively. Yeasts and fungi were completely eliminated by 100%, which transformed the water samples that did not meet the specifications into samples that met the specifications and were suitable for drinking. Some pathogenic microorganisms transmitted through drinking water were isolated and characterized. A total of 42 intestinal bacterial isolates were isolated, with Escherichia coli accounting for 26%, Pseudomonas aeruginosa accounting for 14%, and Klebsiella accounting for 7%. Treatment with ozone at a concentration of 0.3 g/L for 15 minutes had no effect on the sensory characteristics of the water samples studied.

Keywords: Drinking water, ozone, pathogenic bacteria, microbial quality