

تحسين تقنية التجويف الهيدروديناميكي | الاوزون لتخفيض تركيز المحتوى الكيميائي للمركبات العضوية من المياه المصروفة لمحطات توليد الطاقة الكهربائية

علي جلوب خريبط لقاء حسين عبد الرحيم نذير جمال عمران عقيل كاظم علوان

علي سالم عبد السادة جعفر صادق مرتضى

وزارة العلوم والتكنولوجيا | دائرة البيئة والمياه

بغداد - العراق

الخلاصة

درس تأثير تقنية التجويف الهيدروديناميكي وتقنية الاوزون لمعالجة المياه الصناعية بشكل منفصل ومجمعة معا لتحديد التأثير التآزري لتلك التقنيتين في خفض تراكيز المركبات الكيميائية العضوية: المرحلة الاولى استخدم فيها التجويف الهيدروديناميكي بضغط مدخل يبلغ 4 بار، بينما في المرحلة الثانية استخدام حقن الاوزون في المياه بتركيز 40 ملغرام/لتر، بزمان معالجة 120 دقيقة. اخيرا، استخدمت كلا التقنيتين بشكل مشترك لخفض تراكيز المركبات الكيميائية. وجد ان الجمع بين الاوزون والتجويف اظهر اعلى قدرة على المعالجة من التقنيات الفردية المستخدمة وحدها، حيث بلغت نسبة تخفيض تركيز COD (المتطلب الاوكسجين الكيميائي) حوالي 56% بواسطة النظام المدمج، في حين تم تخفيض 26% بالاوزون و25% فقط عن طريق استخدام التجويف الهيدروديناميكي وحده خلال زمن 120 دقيقة من وقت المعالجة. وجد ان قابلية التحلل باستخدام التقنيتين زاد من كفاءة عمل المنظومة، حيث لوحظ ان نسبة ازالة TOC كانت 54% في النظام المشترك بينما كانت 24% باستخدام الاوزون و28.6% في حالة استخدام التجويف الهيدروديناميكي منفرد. كذلك كان التأثير واضحا عند ازالة الزيوت، في النظام المدمج كانت نسبة الازالة حوالي 56%، اما في حالة الاوزون كانت 26%، وللتجويف الهيدروديناميكي كانت نسبة الازالة 36%.

الكلمات المفتاحية: التجويف الهيدروديناميكي، الاوزون، المياه الصناعية، ديناميكية الفقاعات والجذور الحرة.

Enhancement of Hydrodynamic Cavitations / Ozone Technology to Reduce the Concentration of Organic Chemical Content of Discharged Water for Electric Power Plants

Ali Challob Khraibet Liqaa Hussin Abdul Raheem Natheer Jamal Imran

Aqeel Kadum Alwan Ali Salem Abdul-Sadah Jaafar Sadaq Murtadah

Ministry of Science and Technology/ Environment and Water Directorate

Baghdad – Iraq

E_mail: ali_most74@yahoo.com

Abstract

Hydrodynamic cavitation technique and Ozone were studied separately and combined together to determine synergistic effect of these two technologies for treating wastewater on reducing chemical compounds, in first stage, hydrodynamic cavitation was used with an inlet pressure of 4 bar, while in the second stage Ozone injection with water at 40 mg/l, underwent treatment for a period of time 120 min. Was used in final step, Ozone and hydrodynamic cavitation were jointly applied to decompose chemical compounds. About 56% of COD (Chemical Oxygen Demand) was by compact system, while 26% were reduced by Ozone and only 25% by use hydrodynamic cavitation during 120 min of treatment. Furthermore, in this study, it was found that degradability of common system increased of systems work, it was also found that TOC removal 54% in combined system, 24% using Ozone, and 28.6% in case of using hydrodynamic cavitation, during a treatment period of 120 min. also effect was clear when removal oil. In combined system percentage of removal was 56%, and in case of ozone, it was 26%, and for hydrodynamic cavitation, percentage of removal was 36%.

Keywords: Hydrodynamic Cavitation, Ozone, Artificial Water, Bubble Dynamics and Free Radicals.

المقدمة

خلال الجمع بين معالجة HC مع مؤكسدات اخرى مثل الازون، فينتون، بيروكسيد الهيدروجين، وما الى ذلك (Gogate و Thanekar، 2018).

يهدف البحث الى استخدام وتطبيق تقنيات حديثة في معالجة المياه ذات كلفة منخفضة ومضافات كيميائية قليلة، ويعتبر التجوف الهيدروديناميكي مع الازون احد تلك التقنيات.

المواد وطرائق العمل

التجوف Cavitations

يعرف التجوف بأنه ظاهرة تكوين ونمو وانهايار الفقاعات الدقيقة التي تحدث خلال فترة زمنية قصيرة جدا للغاية بحدود ملي ثانية، مما يؤدي الى اطلاق كميات كبيرة من الطاقة الحرارية (Ayli، 2019) كذلك فان توليد الجذور الحرة سريعة التفاعل وتوليد النقاط الساخنة وتعزيز معدل نقل الكتلة بسبب الاضطرابات المتولدة، وما الى ذلك، هي بعض التأثيرات المهمة للتجوف (Attia و Fetyan، 2020) بناء على طريقة التوليد، يصنف التجوف الى اربعة انواع: الصوتية (Acoustic Cavitation)، الهيدروديناميكية (Hydrodynamic Cavitation)، البصري (Optic Cavitation) والجسيمات (Particle Cavitation)، من بين هؤلاء الانواع تعتبر التجايف الهيدروديناميكي والصوتية اكثر الانواع فعالية في احداث التغيرات الكيميائية المرغوبة، يمكن تفسير التدمير/ الاكسدة عن طريق التجوف بتفاعل الجذور الحرة والانحلال الحراري (Mane و اخرون، 2020). تعتمد درجة المعالجة (الاكسدة) على شدة التجوف وعلى خصائص الملوثات التي تتأكسد (Harrabi و اخرون، 2018).

تقنية التجوف الهيدروديناميكي

Hydrodynamic Cavitations

يتم السائل في التجوف الهيدروديناميكي عبر جهاز هيدروليكي مثل (Orifice، Venture، Valve ... الخ)، يحدث التجوف عادة في منطقة

تعتبر النفايات الصناعية السائلة من المصادر الرئيسية لتلوث المياه والتي لها تاثيرات خطيرة على البيئة، تحتوي المياه المصرفة من النشاطات الصناعية على ملوثات عضوية معقدة مثل الزيوت، مبيدات حشرية، الأصباغ، الأمبيات، العقاقير الصيدلانية... الخ، وملوثات لا عضوية والتي يتوجب ازالتها بالكامل قبل تصريف مياه الصرف الى الانهار، وجد ان هذه الملوثات لا يتم ازالتها بكفاءة باستخدام الطرق التقليدية (Yi و اخرون، 2018). في السنوات الاخيرة، ظهرت العديد من عمليات الاكسدة المتقدمة (APOS) تستخدم في معالجة مياه الصرف الصناعي (Kanakaraju و اخرون، 2018). تشمل (APOS) على استخدام تقنية التجوف الهيدروديناميكي، الازون بيروكسيد الهيدروجين الاشعة فوق البنفسجية... الخ (Gagol و اخرون، 2018). اظهرت تقنية التجوف الهيدروديناميكي على انها عملية واعدة في معالجة مياه الصرف الصناعي بسبب قدرتها العالية لأكسدة مجموعة متنوعة من الملوثات المعقدة بالمقارنة مع (APOS) الأخرى، تاثيرات تقنية التجوف تتضمن توليد الجذور الحرة، البقع الساخنة (Hot Spot) بالإضافة الى اطلاق كمية كبيرة من الطاقة المرتبطة بكثافة الاضطراب والتي تعمل على تكسير جزيئات المواد المعقدة وايضا في التحويل الجزئي للجزيئات المعقدة الى جزيئات بسيطة قابلة للتحلل (Rashwan و اخرون، 2021). ومع ذلك، فان تقنية مفاعلات التجوف لها عيوب منها انخفاض في امكانية التوسع، مفاعلات التجوف الهيدروديناميكي (HC) اصبحت تحظى باهتمام كبير من قبل الباحثين في العقد الأخير (Wagh و Dhanke، 2020). على الرغم من ان HC قد اظهر قابلية تطبيق جيدة لمعالجة مياه الصرف الصناعي، الا ان المعالجة باستخدام HC وحده يمثل تحديا بسبب عدم كفاءة قدرة الاكسدة (Holkar و اخرون، 2019). ولزيادة كفاءة المعالجة، يتم من

منطقة الفقاعة، على الرغم من ان الضغط المحلي لا يزال مكافئاً لضغط البخار، عندما تنهار الفقاعات، قد تزداد درجة الحرارة والضغط داخل السائل بسبب تأثيرات الضغط على غازاتها الداخلية (Dular و Zevnik، 2021). وهذا يتسبب في فصل جزيئة الماء الى H^+ و OH^- وجذور الهيدروكسي (OH). وهي مادة مؤكسدة قوية للغاية قادرة على اكسدة معظم المركبات، تعرف العمليات التي تولد جذور الهيدروكسيل عادة بعمليات الاكسدة المتقدمة (AOP) ويمكن اعتبار تقنية التجويف بمثابة عملية اكسدة، حيث تتصرف الفقاعات مثل المفاعلات الدقيقة عندما تنهار، وبالتالي فان الجزيئات التي تكون ضمن التجويف او بالقرب منه تنقسم حرارياً الى جزيئات أصغر وجذور حرة شديدة التفاعل، في حالة تعرض المياه العادمة الى التجويف الهيدروديناميكي (HC) سيتم فصل جزيئات الماء الى جذور الهيدروكسيل (OH) تحت ظروف ضغط ودرجة حرارة قصوى، وبالتالي من الممكن لجذور الهيدروكسيل التي لها امكانية اكسدة قوية ان تؤكسد اي جزيئات عضوية موجودة في المياه العادمة (Cuerda واخرون، 2020).

ذات سرعة عالية (Mancuso واخرون، 2020) (Liu واخرون، 2019). يوضح الشكل (1) التدفق عبر venture حيث في انقباض الانبواب نقل مساحة التدفق وبالتالي تزداد سرعة الجريان وفقاً لمعادلة الاستمرارية (Continuity Equation) (Nazir، 2018):

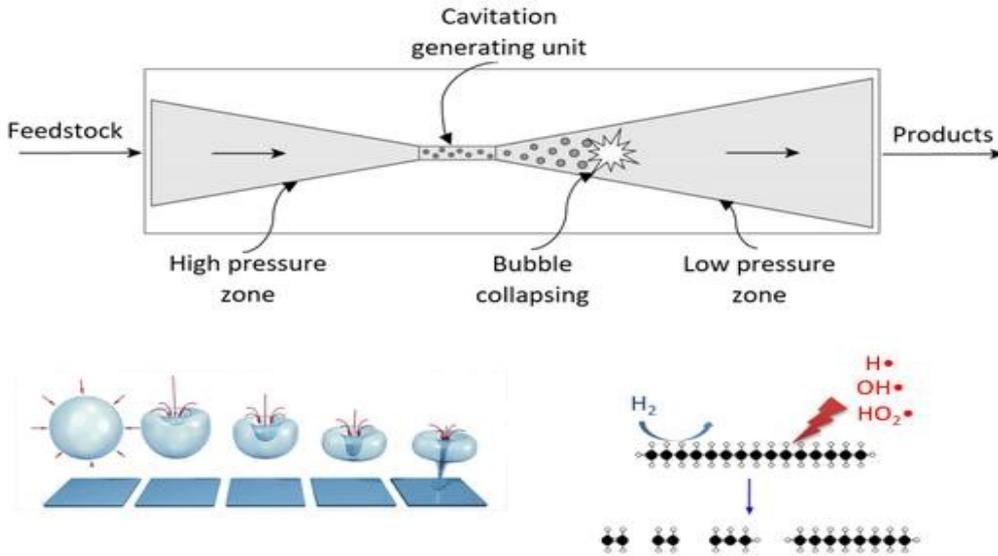
$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \text{ (m}^3\text{/s) (1)}$$

وبالتالي ينخفض الضغط وفقاً لمعادلة برنولي (Bernoulli's Equation):

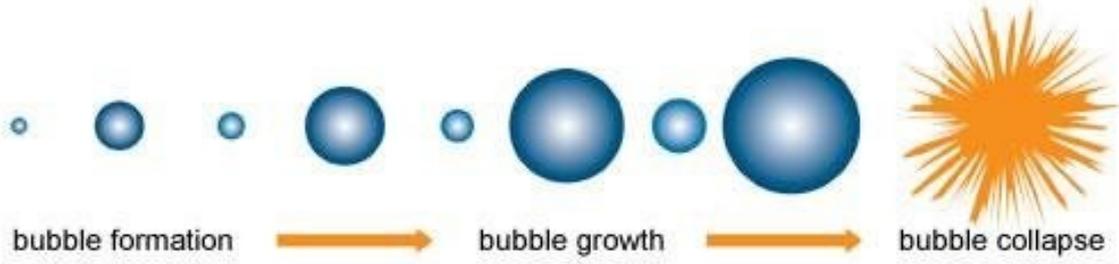
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho gh_2 \text{ (2)}$$

في معدلات التدفق المنخفضة يبقى الضغط اعلى بكثير من ضغط البخار ومع ذلك عندما يكون معدل التدفق مرتفعاً، يمكن ان ينخفض الضغط الى ضغط بخار السائل ويبدأ السائل بالغليان، عند هذه النقطة تتولد الفقاعات ويبدأ التجويف (Ebrahimi واخرون، 2017).

الاضطرابات الحاصلة في السائل واللزوجة ووجود الغازات تؤثر على بداية تقنية التجويف، يحدث استرداد الضغط خارج الانبواب الانقباضي مما يؤدي الى انهيار الفقاعات كما موضح في الشكل (2) الذي يبين تمدد



شكل (1) جريان السائل عبر جهاز Venture.



شكل (2) عملية نمو وانهيار فقاعة التجويف (Ippoliti وFragassa، 2016).

يعرف بعتبة بداية التجويف، يزداد ضغط الانهيار مع زيادة ضغط المدخل بسبب انهيار التجويف الفردي، في حين ان عدد التجاويف المتولدة يتناقص مع زيادة الضغط، مما يؤدي الى ضغط مدخل أمثل في التجويف الهيدروديناميكي (Hosbach واخرون، 2019).

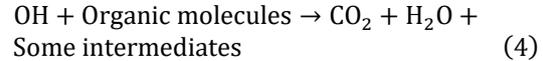
تقنية الأوزون Ozone

الأوزون هو عامل مؤكسد قوي للغاية يتفاعل بقوة مع المركبات التي تحتوي على روابط متعددة بدلا من انواع الرابطة الواحدة. هذا يرجع اساسا الى حقيقة انه لا يوجد مسار سهل للاكسدة المرتبطة بوظيفة واحدة. غالبا ما يعتمد الاجراء العملي للأوزون على كيفية تفاعله مع الملوثات بدلا من مجرد اكتساب الالكترون (باستثناء حالة الاكسدة الايونية البسيطة) (Lin واخرون، 2020). وهو يشير الى اذا كان الأوزون سيؤكسد الركيزة في اطار زمني معقول يعتمد في الغالب على العوامل الحركية بدلا من الديناميكا الحرارية للاكسدة التي يسببها الأوزون (Shah، 2019).

الشكل (3) يوضح المنظومة التجريبية المستخدمة في الدراسة، وهي منظومة صممت في دائرة مغلقة تتألف من:

- 1- خزان تغذية حجم (L 20)
- 2- مضخة ماء (W 1500، V 220، Hz 50، rpm 2850، bar 10 و L 6 \ min).
- 3- صمامات تحكم
- 4- مقياس ضغط عدد 2
- 5- جهاز تجويف Venture

هنالك اليتان رئيسيتان تعمل على تحلل الملوثات العضوية عن طريق تقنية HC، الاولى التحلل الحراري لجزيء الملوثات المتطايرة المنحصرة داخل التجويف المنهار، والثانية تفاعل جذور الهيدروكسيل مع الملوثات، في بعض الاحيان تكون التأثيرات الميكانيكية مهمة ايضا في تحطيم الملوثات، وبعض الحالات يمكن ان تؤدي الكثافة العالية لموجات الصدمة (الناجمة عن انهيار التجويف) الى كسر الروابط الجزيئية للمركبات المعقدة ذات الوزن الجزيئي الكبير (Mancuso واخرون، 2020)، وبالتالي تكون المركبات المفككة اكثر عرضة لهجوم OH، والتي من الممكن ان تؤدي الى زيادة معدل اكسدة المركبات باستخدام HC كطريقة معالجة مسبقة، التفاعلات التالية من الممكن ان تحدث اثناء اكسدة الجزيئات العضوية باستخدام HC (Behnajady واخرون، 2008) (Saharan واخرون، 2014):



ضغط المدخل Inlet Pressure

يلعب ضغط المدخل دورا مهما في التجويف. مع زيادة ضغط المدخل، يزداد المصعب ايضا، مما يؤدي الى انخفاض ضغط دائم اعلى عبر الفتحة. نتيجة لذلك، يتم انشاء نبضة ضغط مرتفع بسبب الانهيار الاكثر عنفا للتجويف، يتم ملاحظة تأثيرات التجويف عندما يصل ضغط المدخل الى حد معين أدنى والذي

النتائج والمناقشة

تأثير ضغط نقطة المدخل على ازالة المتطلب الاوكسجين الكيميائي

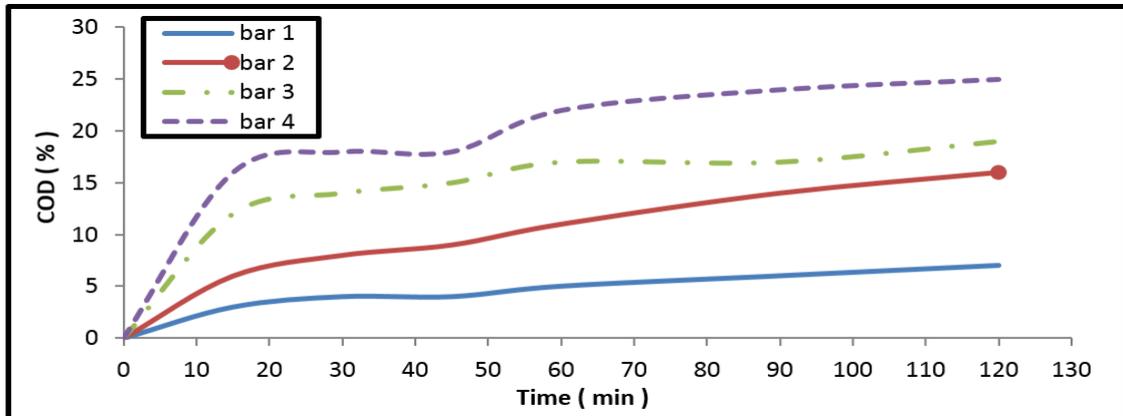
الشكل (4) يوضح عمليات الازالة المرحلة الاولى من التجويف الهيدروديناميكي (HC) حيث نقل نسبة الازالة الـ COD عند مدخل ضغوط مختلفة مع زيادة وقت التجويف عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى وبمدخلات ضغط مختلفة (1 و 2 و 3 و 4 بار) نلاحظ انه عند ضغط 1 بار كانت نسبة ازالة COD 3% وتبدأ نسبة الازالة تزداد تدريجيا مع زيادة وقت التشغيل حتى تصل 7% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل ضغط 2 بار كانت نسبة ازالة COD 6% وتبدأ الزيادة في ازالة COD الى ان تصل 16% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل ضغط 3 بار نلاحظ نسبة ازالة COD 12% عند 15 دقيقة وتبدأ الزيادة في ازالة COD حتى تصل 19% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل ضغط 4 بار اصبح نسبة ازالة COD 16% عند 15 دقيقة وتزداد نسبة الازالة لتصبح 25% خلال 120 دقيقة. نلاحظ من خلال النتائج اعلاه ان نسبة ازالة COD من المياه المصرفة الملوثة بالمركبات العضوية تكون أفضل في حالة الضغوط العالية ولفترة زمنية قدرها 120 دقيقة.

6- جهاز توليد الاوزون POG-3G Portable Ozone Generator 220 VAC, 50/60 Hz, Ozone output: 40 ملغرام \ لتر.
7- انابيب ووصلات ربط.

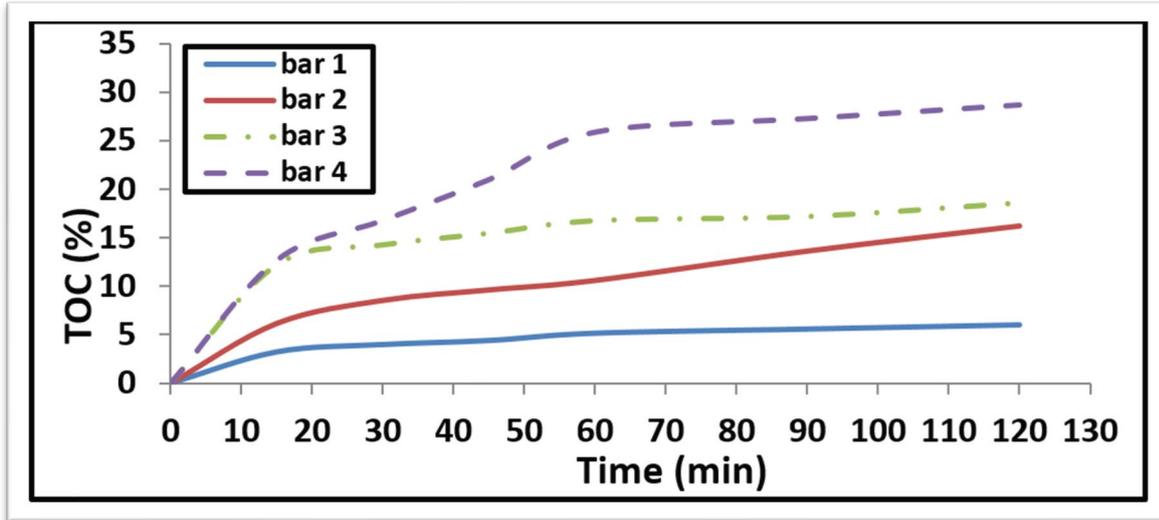


شكل (3) منظومة مختبرية مكونة من: (1, 2, 3, 4 و 5) صمامات تحكم، 6 مضخة ماء، (8,7) مقاييس ضغط، 9 جهاز venture 10، خزان التجميع، 11 جهاز توليد الأوزون.

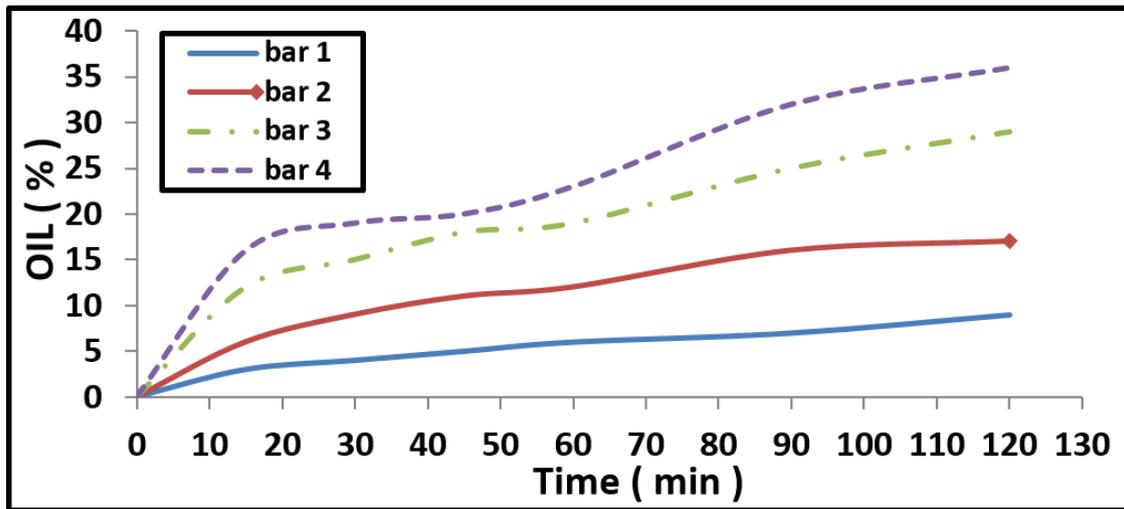
استخدمت الطريقة اللونية في جهاز قياس الطيف اللوني DR5000 لقياس تراكيز COD و TOC، وتضمنت هذه الطريقة باضافة 2 مل من العينة الى المحلول المحضر لقياس COD داخل امبولة خاصة بالقياس، نضع الامبولة في جهاز الهضم لمدة 2 ساعة بدرجة حرارة 150 °م بعدها تترك لمدة 20 دقيقة لتبرد ثم يقاس تركيز COD. اما قياس الزيوت قيست بواسطة جهاز HORIBA OCMA – 350. تضمنت المرحلة الاولى استخدام تقنية التجويف الهيدروديناميكي على نموذج من المياه المصرفة من محطة كهرباء جنوب بغداد الحرارية، اما في المرحلة الثانية تم استخدام الاوزون، واخيرا تم تقييم التأثير المشترك التجويف الهيدروديناميكي والاوزون معا. كمية النموذج المعالجة 10 لتر.



شكل (4) تأثير مدخلات الضغوط على نسبة ازالة COD بمرور الزمن.



شكل (5) تأثير مدخلات الضغوط على نسبة ازالة TOC بمرور الزمن.



شكل (6) تأثير مدخلات الضغوط على نسبة ازالة الزيوت بمرور الزمن.

و28.67%) على التوالي خلال 120 دقيقة. نلاحظ من خلال النتائج المستحصلة اعلاه ان نسبة ازالة TOC من المياه الملوثة بالمركبات العضوية تكون أفضل في حالة الضغوط العالية ولفترة زمنية مدتها 120 دقيقة.

تأثير ضغط نقطة المدخل على ازالة الزيوت

الشكل (6) يبين نسب ازالة الزيت في الماء الى الحد الاقصى تحت مدخل ضغط (1 و2 و3 و4 بار)، عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى وبمدخلات ضغط مختلفة (1 و2 و3 و4 بار) حيث لوحظ ان نسبة ازالة الزيوت عند ضغط (1 و2 و3 و4

تأثير ضغط نقطة المدخل على ازالة TOC

النتائج الموضحة في الشكل (5)، تمثل المعالجة في المرحلة الاولى من التجويف الهيدروديناميكي (HC) حيث لوحظ التناقص في نسبة ازالة TOC عند مدخل ضغوط مختلفة مع زيادة وقت التجويف عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى وبمدخلات ضغط مختلفة (1 و2 و3 و4 بار) حيث لوحظ ان نسبة ازالة TOC عند ضغط (1 و2 و3 و4 بار) كانت (3.22 و6.17 و12.18 و12.69%) على التوالي، وكانت نسبة الازالة تزداد تدريجيا مع زيادة وقت التشغيل حتى بلغت (6 و17.23 و18.53

الزيادة في إزالة COD الى ان تصل 22% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل تركيز 40 ملغرام/لتر نلاحظ نسبة إزالة COD 12% عند 15 دقيقة وتبدأ الزيادة في إزالة COD حتى تصل 26% خلال 120 دقيقة. نلاحظ من خلال النتائج اعلاه ان نسبة ازالة COD من المياه المصرفة الملوثة بالمركبات العضوية تكون افضل في حالة التراكيز العالية من الاوزون ولفترة زمنية 120 دقيقة.

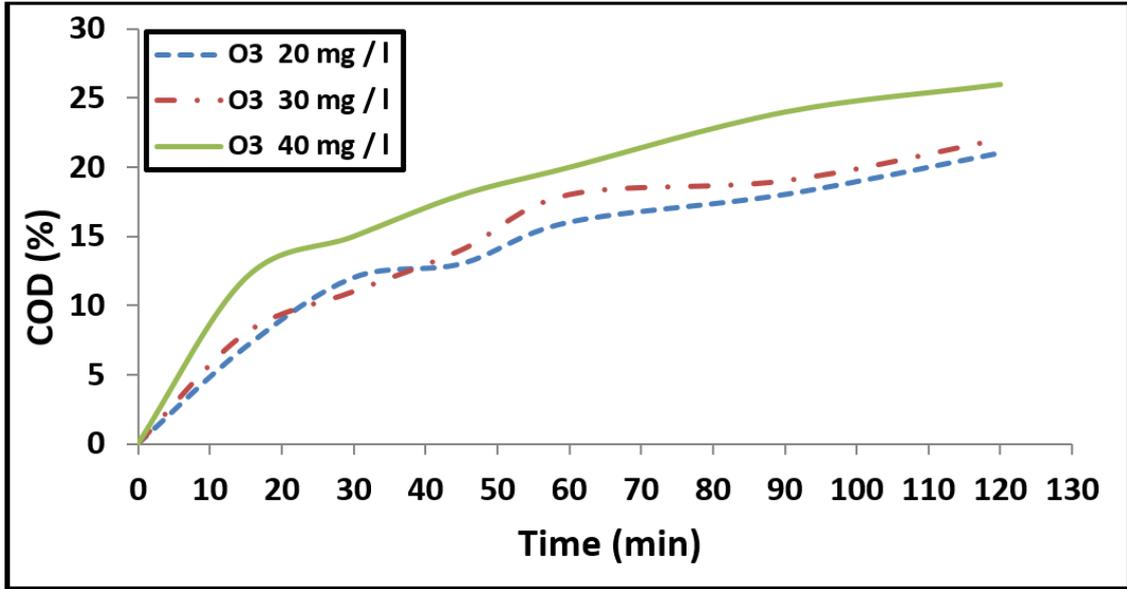
تأثير الاوزون على إزالة TOC

النتائج في الشكل (8) تبين ما يلي، في المرحلة الاولى من تركيز الاوزون تقل نسبة الازالة من TOC عند مدخلات تراكيز مختلفة مع زيادة وقت المعالجة، عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى وبمدخلات تراكيز مختلفة (20 و30 و40 ملغرام/لتر)، نلاحظ انه عند تركيز 20 ملغرام/ لتر كانت نسبة إزالة TOC 7% وتبدأ نسبة الازالة تزداد تدريجياً مع زيادة وقت التشغيل حتى تصل 21% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل تركيز 30 ملغرام/لتر كانت نسبة زالة TOC 8% وتبدأ الزيادة في ازالة TOC الى ان تصل 22% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل تركيز 40 ملغرام/لتر نلاحظ نسبة ازالة TOC 12% عند 15 دقيقة وتبدأ الزيادة في زالة TOC حتى تصل 24% خلال 120 دقيقة. كذلك نلاحظ من خلال النتائج اعلاه ان نسبة ازالة TOC من المياه المصرفة الملوثة بالمركبات العضوية تكون افضل في حالة التراكيز العالية من الاوزون ولفترة زمنية 120 دقيقة.

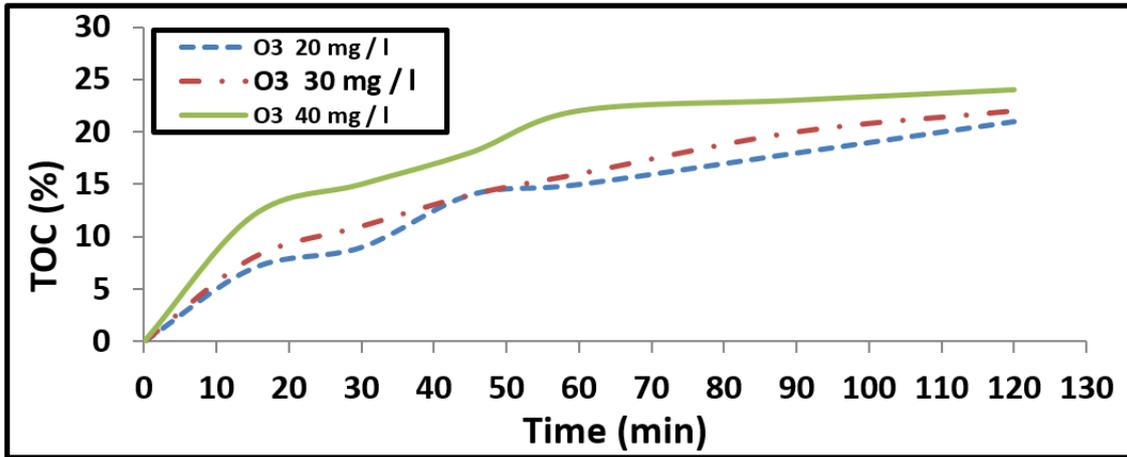
بار) كانت (3 و6 و12 و16%) على التوالي، وكانت نسبة الازالة تزداد تدريجياً مع زيادة وقت التشغيل حتى بلغت (9 و7 و29 و36%) على التوالي خلال 120 دقيقة. نلاحظ من خلال النتائج المستحصلة اعلاه ان نسبة ازالة الزيوت من المياه الملوثة بالمركبات العضوية تكون افضل في حالة الضغوط العالية ولفترة زمنية 120 دقيقة. تشير هذه النتائج الى انه في ظل نفس الظروف التشغيلية، تزداد نسبة ازالة الزيت من الماء مع زيادة ضغط نقطة المدخل في المرحلة الاولى، عندما يصل تركيز الزيت الى اقصى قيمة فانه لا ينخفض بسرعة كبيرة عند ارتفاع الضغط المدخل. عندما يكون الضغط (4 بار) يكون انخفاض الزيت اكثر وضوحاً، مما يشير الى ان معدل ازالة ملوثات الزيت يكون اكبر. ويرجع السبب في ذلك لاحتواء الزيت الموجود في الماء بشكل اساسي على زيت عالق وزيت مذاب، في المرحلة الاولى يكون التأثير الميكانيكي للتجفيف اكبر من تأثير تحلل التجفيف. مع زيادة الضغط يكون هنالك تأثير ميكانيكي اقوى، وبالتالي تزداد قابلية ذوبان الزيت العالق. عندما يزداد الضغط المدخل الاولي يكون تركيز الزيت في الماء اعلى، بينما في المرحلة الثانية عندما يقل تركيز الزيت الى اقصى قيمة، يسود تأثير تحلل الجذور الحرة OH على التأثير الميكانيكي لـ HC وبذلك ينخفض تركيز الزيت.

تأثير الاوزون على ازالة المتطلب الاوكسجين الكيميائي COD

النتائج المستحصلة من الشكل (7) في المرحلة الاولى من عمل منظومة الاوزون تقل نسبة الازالة من COD عند مدخلات تراكيز منخفضة، عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى وبمدخلات تراكيز مختلفة (20 و30 و40 ملغرام/لتر)، نلاحظ انه عند تركيز 20 ملغرام/لتر كانت نسبة إزالة COD 7% وتبدأ نسبة الازالة تزداد تدريجياً مع زيادة وقت التشغيل حتى تصل 21% خلال 120 دقيقة، اما عند مدخل تركيز 30 ملغرام/لتر كانت نسبة زالة COD 8% وتبدأ



شكل (7) تأثير الاوزون على نسبة ازالة COD بمرور الزمن.

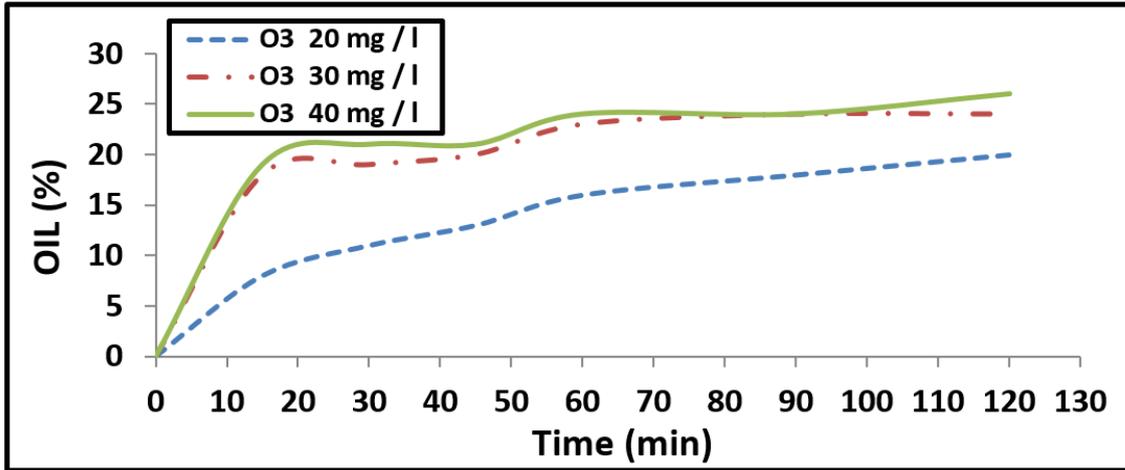


شكل (8) تأثير الاوزون على نسبة ازالة TOC بمرور الزمن.

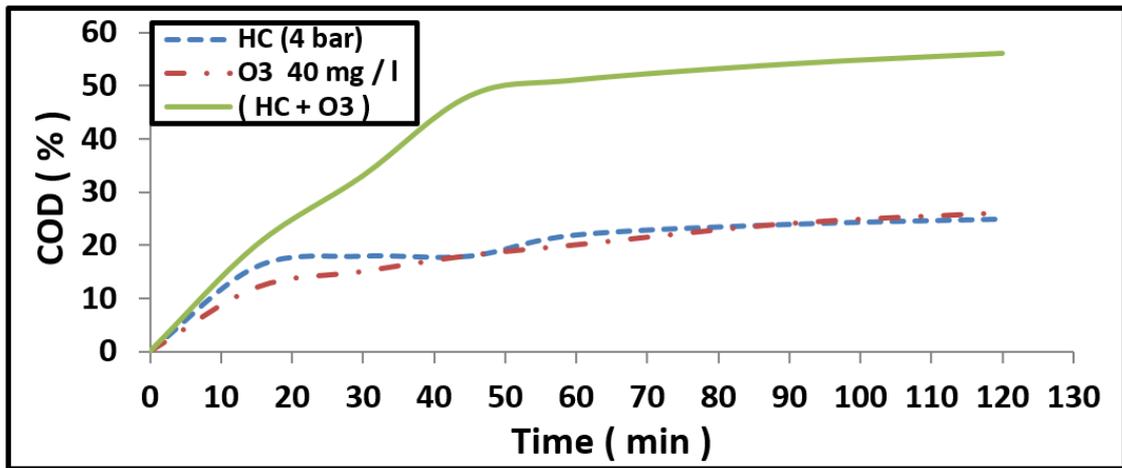
نسبة إزالة الزيوت هي (19 و 26%) على التوالي. تشير هذه النتائج الى انه في ظل نفس الظروف التشغيلية، تزداد نسبة ازالة الزيت من المياه مع زيادة التركيز المدخل من الاوزون، عندما يكون تركيز الاوزون (40 ملغرام/لتر) يكون انخفاض الزيت أكثر وضوحاً، مما يشير الى ان معدل ازالة ملوثات الزيت يكون أكبر، ويرجع السبب في ذلك الى تحول الزيوت العالقة الى زيوت مذابة نتيجة التأثير الميكانيكي الناتج عن عملية تدوير المياه داخل منظومة المعالجة، عند زيادة تركيز الاوزون المدخل نلاحظ انخفاض في تركيز الزيوت نتيجة زيادة تأثير الجذور الحرة OH.

تأثير الاوزون على ازالة الزيوت

يبين الشكل (9) نسب ازالة الزيت من المياه المعالجة تحت مدخلات تراكيز (20 و 30 و 40 ملغرام/لتر)، يتناقص تركيز الزيت تدريجياً في المياه المعالجة مع زيادة وقت التشغيل. عندما كان زمن التشغيل (15 دقيقة)، كان تركيز الزيت عند مدخل تركيز الاوزون (20 ملغرام/لتر) هي بنسبة 8% وبعد مرور 120 دقيقة اصبحت نسبة الازالة 20%، اما عند مدخل تركيز (30 ملغرام/لتر) كانت نسبة ازالة الزيوت 18% وبعد مرور 120 دقيقة اصبحت نسبة الازالة 24%. اما عند مدخل تركيز (40 ملغرام/لتر) كانت



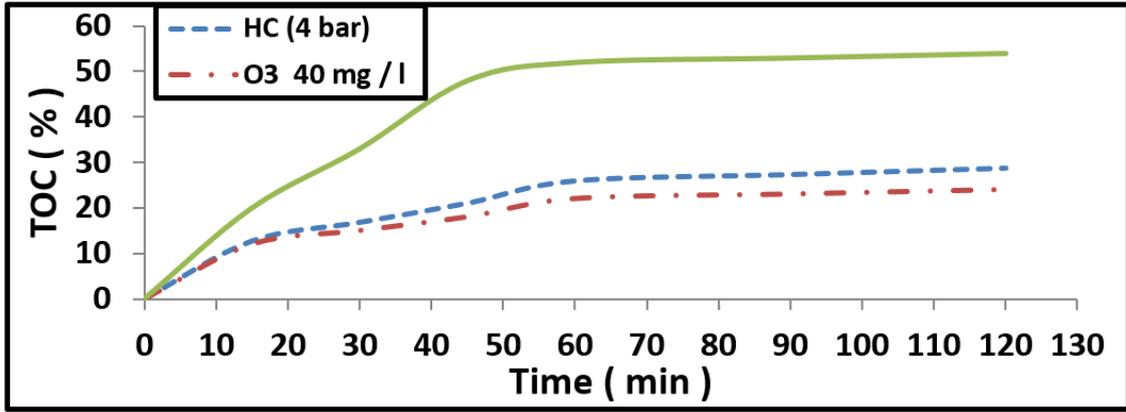
شكل (9) تأثير الاوزون على نسبة ازالة الزيوت بمرور الزمن.



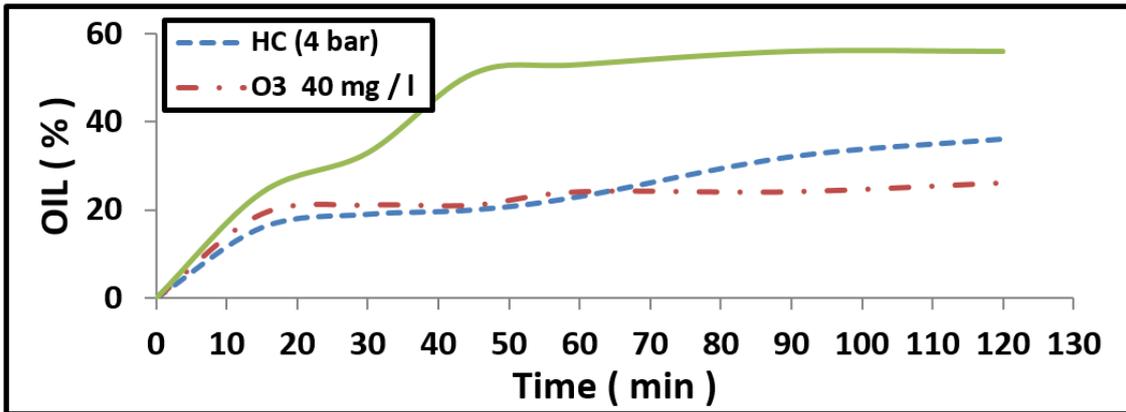
شكل (10) تأثير الضغط المدخل/ الاوزون على نسبة ازالة COD بمرور الزمن.

الازالة تصبح 20% وتبدأ بالزيادة التدريجية مع مرور الزمن حتى تصبح 56% عند الزمن 120 دقيقة، نلاحظ من خلال النتائج اعلاه ان نسبة ازالة COD من المياه المصرفة الملوثة بالمركبات العضوية تكون افضل في حالة التقنية المدمجة ولفترة زمنية 120 دقيقة، والسبب في الزيادة الكبيرة للجذور الحرة OH. الناتجة من عملية التجويف الهيدروديناميكي وعملية الاوزون هذا من جهة، ومن جهة اخرى عملية مزج الاوزون مع المياه يكون بشكل أفضل ننتج الضغط المسلط من عملية التجويف الهيدروديناميكي.

تأثير ضغط نقطة المدخل (التجويف) ١ الاوزون على ازالة المتطلب الاوكسجين الكيميائي
اختير افضل ضغط مدخل (4 بار) وافضل تركيز اوزون (40 ملغرام/ لتر)، من خلال الشكل (10) لوحظ، عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى، فان نسبة ازالة COD 16% تحت تأثير التجويف وتبدأ نسبة الازالة تزداد تدريجياً مع زيادة وقت التشغيل حتى تصل نسبة الازالة لتصبح 25% خلال 120 دقيقة. اما عند مدخل تركيز الاوزون 40 ملغرام/ لتر نلاحظ نسبة ازالة COD 12% عند 15 دقيقة وتبدأ الزيادة في ازالة COD حتى تصل 26% خلال 120 دقيقة. اما في حالة دمج التقنيتين معا (HC + O₃)، نلاحظ عند بداية التشغيل في الزمن 15 دقيقة نسبة



شكل (11) تأثير الضغط المدخل/ الاوزون على نسبة ازالة TOC بمرور الزمن.



شكل (12) تأثير الضغط المدخل/ الاوزون على نسبة ازالة الزيوت بمرور الزمن.

دقيقة، نلاحظ من خلال النتائج اعلاه ان نسبة ازالة TOC من المياه المصرفة الملوثة بالمركبات العضوية تكون افضل في حالة التقنية المدمجة ولفترة زمنية 120 دقيقة، والسبب في الزيادة الكبيرة للجذور الحرة OH^- الناتجة من عملية التجويف الهيدروديناميكي وعملية الاوزون هذا من جهة، ومن جهة اخرى عملية مزج الاوزون مع المياه يكون بشكل نتيجة الضغط المسلط من عملية التجويف الهيدروديناميكي.

تأثير الضغط المدخل/ الاوزون على ازالة الزيوت

اختير افضل ضغط مدخل (4 بار) وافضل تركيز اوزون (140 ملغم/التر)، نلاحظ من خلال الشكل (12)، عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى، نسبة ازالة الزيوت 16% تحت تأثير التجويف وتبدأ نسبة الازالة تزداد تدريجيا مع زيادة وقت التشغيل حتى تصل نسبة الازالة لتصبح 36% خلال 120

تأثير ضغط نقطة المدخل (التجويف) الاوزون على ازالة الكاربون العضوي الكلي

اختير افضل ضغط مدخل (4 بار) وافضل تركيز اوزون (140 ملغم/التر)، نلاحظ من خلال الشكل (11)، عند وقت تشغيل المنظومة خلال 15 دقيقة الاولى، نسبة ازالة TOC 12.69% تحت تأثير التجويف وتبدأ نسبة الازالة تزداد تدريجيا مع زيادة وقت التشغيل حتى تصل نسبة الازالة الى 28.67% خلال 120 دقيقة. اما عند مدخل تركيز الأوزون 40 ملغم/لتر نلاحظ نسبة ازالة TOC 12% عند 15 دقيقة وتبدأ الزيادة في ازالة TOC حتى تصل 24% خلال 120 دقيقة. اما في حالة دمج التقنيتين معا (HC + O₃)، نلاحظ عند بداية التشغيل في الزمن 15 دقيقة نسبة الازالة تصبح 20% وتبدأ بالزيادة التدريجية مع مرور الزمن حتى تصبح 54% عند الزمن 120

القيمة اكبر من قيمة α ويشير ذلك لعدم وجود اي فروقات معنوية بين الطريقتين المستخدمة في المعالجة. اما الجدول (2) الذي يبين اختبار t- test للمعالجة المدمجة ($HC + O_3$) ومعالجة التجويف الهيدروديناميكي بمدخل ضغط 4 بار، القيمة المعنوية في الاختبار $\alpha = 0.05$ ، نلاحظ ان قيمة $P(T \leq t)$ two-tail هي 0.007 وهذه القيمة اقل من قيمة α ويشير ذلك الى وجود فروقات معنوية بين الطريقتين المستخدمة في المعالجة وهذا يشير لكفاءة استخدام الازون والتجويف الهيدروديناميكي عند استخدامهما معا في المعالجة.

اما الجدول (3) الذي يبين اختبار t- test للمعالجة المدمجة ($HC + O_3$) والمعالجة باستخدام الازون بتركيز 40 ملغرام/ لتر، القيمة المعنوية في الاختبار $\alpha = 0.05$ ، نلاحظ ان قيمة $P(T \leq t)$ two-tail هي 0.004 وهذه القيمة اقل من قيمة α ويشير ذلك الى وجود فروقات معنوية بين الطريقتين المستخدمة في المعالجة وهذا يشير كذلك لكفاءة استخدام الازون والتجويف الهيدروديناميكي عند استخدامهما معا في المعالجة.

دقيقة. اما عند مدخل تركيز الأوزون 40 ملغرام/لتر نلاحظ نسبة ازالة الزيوت 19% عند 15 دقيقة وتبدأ الزيادة في زالة الزيوت حتى تصل 26% خلال 120 دقيقة. اما في حالة دمج التقنيتين معا ($HC + O_3$)، نلاحظ عند بداية التشغيل في الزمن 15 دقيقة نسبة الازالة تصبح 24% وتبدأ بالزيادة التدريجية مع مرور الزمن حتى تصبح 56% عند الزمن 120 دقيقة، نلاحظ من خلال النتائج اعلاه ان نسبة ازالة الزيوت من المياه المصرفة الملوثة بالمركبات العضوية تكون افضل في حالة التقنية المدمجة ولفترة زمنية 120 دقيقة، والسبب في الزيادة الكبيرة للجذور الحرة OH الناتجة من عملية التجويف الهيدروديناميكي وعملية الازون هذا من جهة، ومن جهة اخرى عملية مزج الازون مع المياه يكون بشكل نتيجة الضغط المسلط من عملية التجويف الهيدروديناميكي.

اجريت بعض العمليات الاحصائية لنتائج التجارب التي تم الحصول عليها مختبريا، من خلال الجدول (1) الذي يبين اختبار t- test لمعالجة الازون بتركيز 40 ملغرام/لتر ومعالجة التجويف الهيدروديناميكي بمدخل ضغط 4 بار، القيمة المعنوية في الاختبار $\alpha = 0.05$ ، نلاحظ ان قيمة $P(T \leq t)$ two-tail هي 0.15 وهذه

جدول (1) البيانات الاحصائية بين الازون والتجويف الهيدروديناميكي.

T-Test: Paired Two Sample for Means		
	4 Bar	O ₃ 40 mg / l
Mean	17.57142857	16.42857143
Variance	71.28571429	75.95238095
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.976881474	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	6	
T Stat	1.621769708	
P(T<=T) One-Tail	0.077989702	
T Critical One-Tail	1.943180274	
P(T<=T) Two-Tail	0.155979404	
T Critical Two-Tail	2.446911846	

جدول (2) البيانات الاحصائية بين المعالجة المدمجة والتجويف الهيدروديناميكي.

T-Test: Paired Two Sample for Means		
	4 Bar	(HC + O ₃)
Mean	17.57143	37.4285714
Variance	71.28571	439.952381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.933859	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	6	
T Stat	-3.91071	
P(T<=T) One-Tail	0.003943	
T Critical One-Tail	1.94318	
P(T<=T) Two-Tail	0.007886	
T Critical Two-Tail	2.446912	

جدول (3) البيانات الاحصائية بين المعالجة المدمجة والاوزون.

T-Test: Paired Two Sample for Means		
	O ₃ 40 mg / l	(HC + O ₃)
Mean	16.42857143	37.42857143
Variance	75.95238095	439.952381
Observations	7	7
Pearson Correlation	0.972575507	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	6	
T Stat	-4.387896792	
P(T<=T) One-Tail	0.002314247	
T Critical One-Tail	1.943180274	
P(T<=T) Two-Tail	0.004628494	
T Critical Two-Tail	2.446911846	

الاستنتاجات

المياه الملوثة بالمواد العضوية للمياه المصرفة من محطات توليد الطاقة الكهربائية، كانت الاهداف الرئيسية لفهم التحلل في الملوثات العضوية من خلال خفض محتوى متطلب الاوكسجين الكيميائي COD

بينت النتائج المستحصلة في هذا البحث جدوى استخدام التجويف الهيدروديناميكي بصورة مستقلة وكذلك استخدامه مع الاكسدة المتقدمة الاخرى في معالجة

Cuerda-Correa, E. M., M. F. Alexandre-Franco and C. F. Gonzalez, (2020). "Advanced Oxidation Processes for the Removal of Antibiotics from Water. An Overview." *Water*12(1), 102.

Dhanke, P. B. and S. M. Wagh, (2020). "Intensification of the Degradation of Acid RED-18 Using Hydrodynamic Cavitation." *Emerging Contaminants*6, 20-32.

Ebrahimi, B.; G. He, Y. Tang, M. Franchek, D. Liu, J. Pickett, F. Springett and D. Franklin, (2017). "Characterization of High-Pressure Cavitating Flow Through a Thick Orifice Plate in a Pipe of Constant CrossSection." *International Journal of Thermal Sciences* 114, 229-240.

Fetyan, N. A. and T. M. Salem Attia, (2020). "Water Purification Using Ultrasound Waves: Application and Challenges." *Arab Journal of Basic and Applied Sciences* 27(1), 194-207.

Fragassa, C. and M. Ippoliti, (2016). "Fallure Mode Effectsand Crticaltty Anlysis (FMECA) as a Quality Toolto Plan Improvementin Ultraonic Mould Cleaning Systems." *International Journal for Quality Research* 10, (4).

Gagol, M., A. Przyjazny and G. Boczkaj, (2018). "Wastewater Treatment by Means of Advanced Oxidation Processes Based on Cavitation–areview." *Chemical Engineering Journal* 338, 599-627.

Harrabi, M., H. B. Ammar, K. Mbarki, I. Naifar, Ch. Yanchi, F. Aloulou and B. Elleuch, (2018). "Ultrasonic Power Improvement of Flumequine Degradation Effectiveness in Aqueous Solution Via Direct and Indirect Action of Mechanical AcousticWave." *Ultrasonics sonochemistry* 48, 517-522.

وخفض محتوى الكربون العضوي الكلي (TOC) والزيوت (Oils). من خلال هذه التجارب نجد ان عملية الجمع بين التجويف الهيدروديناميكي والاوزون يمكن اعتبارها كطريقة فعالة في معالجة المياه الملوثة بالمواد العضوية تشير النتائج التي تم التوصل اليها انه في ظل الظروف المثلى مثل الضغط المدخل 4 بار للتجويف الهيدروديناميكي كانت أفضل نسب إزالة COD و TOC و OIL هي (25 و 28.67 و 36%) على التوالي خلال فترة زمنية 120 دقيقة. اما عند استخدام الاوزون كانت نسب الازالة من COD و TOC و OIL هي (26 و 24 و 26%) على التوالي خلال فترة زمنية 120 دقيقة. اما في الحالة التآزيرية HC/O₃ تشير النتائج الى الفعالية العالية لكليهما حيث كانت نسب الازالة من COD و TOC و OIL هي (56 و 54 و 56%) على التوالي خلال فترة زمنية 120 دقيقة. تعتبر هذه الطريقة المدمجة HC / O₃ ناجحة، مما ادى الى تحلل المركبات العضوية بنسب اعلى من استخدام كل عملية منفردة، على الرغم من التحلل العالي الذي تم تحقيقه، الا ان وقت المعالجة كان ضمن الفترة الزمنية 120 دقيقة.

التوصيات

- اجراء تجارب مختبرية مكثفة اضافية.
- تطبيق تقنية التجويف الهيدروديناميكي مع الاوزون بمنظومات ريادية ضمن المنشآت الصناعية لمعالجة المياه قبل تصريفها الى النهر.

References

- Ayli, E., (2019).** "Cavitation in Hydraulic Turbines." *International Journal of Heat and Technology*37(1), 334.
- Behnajady, M., N., Modirshahla; S. B.Tabriziand S.Molane, (2008).** "Ultrasonic Degradation of Rhodamine B in Aqueous Solution: Influence of Operational Parameters." *Journal of Hazardous Materials* 152 (1), 381-386.

- Holkar**, C. R., A. J. Jadhav, D. V. Pinjari and A. B. Pandit, (2019). "Cavitationally Driven Transformations: A technique of Process Intensification." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 58(15), 5797-5819.
- Hosbach**, M., S. Gitau, T. Sander, U. Leuteritz and M. Pfitzner, (2019). "Effect of Taper, Pressure and Temperature on Cavitation Extent and Dynamics in Micro-Channels." *Experimental Thermal and Fluid Science* 108, 25-38.
- Lin**, F., Z. Wang, Z. Zhang, Y. He, Y. Zhu, J. Shao, D. Yuan, G. Chen and K. Gen, (2020). "Flue Gas Treatment with Ozone Oxidation: An Overview on NO_x, Organic Pollutants, and Mercury." *Chemical Engineering Journal* 382, 123030.
- Mancuso**, G.M. Langone and G. Andreottola, (2020). "A critical Review of the Current Technologies in Wastewater Treatment Plants by Using Hydrodynamic Cavitation Process: Principles and Applications." *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 18(1), 311-333 .
- Mane**, M. B. V. M. Bhandari, K. Balapure and V. V. Ranade, (2020). "A Novel Hybrid Cavitation Process for Enhancing and Altering Rate of Disinfection by Use of Natural Oils Derived from Plants." *Ultrasonics Sonochemistry* 61, 104820.
- Nazir**, T., (2018). *The Control of Various Channels Water Flows*. 2018 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), IEEE.
- Rashwan**, S. S., I. Dincer and A. Mohany, (2021). "A Review on the Importance of Operating Conditions and Process Parameters in Sonic Hydrogen Production." *International Journal of Hydrogen Energy* 46 (56), 28418-28434.
- Saharan**, V. K., D. V. Pinjari and P. R. Gogate, (2014). *Advanced Oxidation Technologies for Wastewater Treatment: An Overview*, Elsevier, Butterworth, Heinemann, UK.
- Shah**, M. P., (2019). *Advances in Industrial Wastewater Treatment. Microbes for Sustainable Development and Bioremediation*, CRC Press, 55-72.
- Thanekar**, P. and P. Gogate, (2018). "Application of Hydrodynamic Cavitation Reactors for Treatment of Wastewater Containing Organic Pollutants: Intensification Using Hybrid Approaches." *Fluids* 3(4), 98.
- Yi**, C.; Q. Lu; Y. Wang and B. Yang, (2018). "Degradation of Organic Wastewater by Hydrodynamic Cavitation Combined with Acoustic Cavitation." *Ultrasonics Sonochemistry* 43, 156-165.
- Zevnik**, J. and M. Dular, (2021). "Liposome Destruction by Acollapsing Cavitation Microbubble: A numerical Study." *Ultrasonics Sonochemistry* 78, 105706.