

## Assessment of Hydrodynamic Cavitation Technology to Treat the Leachate Resulting from Wadi Al-Hada Facility in Tartous City

Dr. Hussein Juniedih\*

Dr. Ali Daoud\*\*

Alaa Suleiman\*\*\*

(Received 5 / 1 / 2020. Accepted 1 / 7 / 2020)

### □ ABSTRACT □

In this research, the leachate, which generated from the composting process of municipal waste sorting plant in Wadi Alhada in Tartous, has been studied. The waste in the plant is subject to mechanical screening, and the organic part of it is treated biologically through the process of composting. This process generates a leachate, which the rainfalls increase their quantity. The leachate contains very high concentrations of organic and inorganic substances and heavy metals, and in view of its danger to the soil and water of the region, in order to be treated, it was described through quarterly samples, and the following indicators were determined : ( $^3\text{-PO}_4$  ,  $\text{NO}_3$  ,  $\text{BOD}_5$  ,  $\text{COD}$  ,  $\text{pH}$  ,  $\text{TDS}$  ,  $\text{EC}$ ). The maximum value of  $\text{COD}$  and  $\text{BOD}_5$ , respectively, was 65000 , 44000  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . Given the nature of the leachate and its contaminants, the hydrodynamic cavitation technique (HDC) was selected with a view to reducing the organic load and destroying its complex organic compounds, thus preparing them for subsequent treatments. The removal efficiency of the  $\text{COD}$  was 33.33% achieved after (135) minute of cavitation time, whereas, no change was observed for the  $\text{BOD}_5$  indicator. The results showed that the method (HDC) is effective for the primary treatment of the leachate, leading to greater efficiency in subsequent treatments with a reduction in time and economic costs.

**Keywords:** Leachate Treatment, Organic Waste, Composting, Hydrodynamic Cavitation.

---

\* Assistant Professor - Department of Environmental Engineering Systems, High Institute for Environmental Researches, Tishreen University- Lattakia- Syria.

\*\* Environmental Affairs in Tartous city- Tartous- Syria.

\*\*\* Master Student - Department of Environmental Engineering Systems, High Institute for Environmental Researches, Tishreen University- Laatakia- Syria. E-mail: alaa90suleiman@gmail.com

## تقييم كفاءة تقانة التجويف الهيدروديناميكي لمعالجة الرشاحة الناتجة عن معمل وادي الهدة في طرطوس

د. حسين جندي \*

د. علي داود \*\*

آلاء سليمان \*\*\*

(تاريخ الإيداع 5 / 1 / 2020. قُبِلَ للنشر في 1 / 7 / 2020)

### □ ملخّص □

تم في هذا البحث دراسة الرشاحة المتولدة عن الأسمدة الهوائية في معمل فرز النفايات البلدية في معمل وادي الهدة في طرطوس. تخضع النفايات في المعمل إلى الفرز الميكانيكي، ويعالج القسم العضوي منها معالجة حيوية من خلال عملية الأسمدة الهوائية. تتولد خلال هذه العملية رشاحة تساهم الهطولات المطرية في زيادة كمياتها. تحتوي الرشاحة السابقة على تراكيز عالية جداً من المواد العضوية وغير العضوية إضافة إلى المعادن الثقيلة، وبالنظر إلى خطورتها على التربة والمياه في المنطقة، ويهدف معالجتها، تم توصيفها من خلال عينات فصلية، وحددت بموجبها المؤشرات (COD، BOD<sub>5</sub>، NO<sub>3</sub><sup>-</sup>، PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>، pH، TDS، EC) حيث بلغت القيمة العظمى لـ COD والـ BOD<sub>5</sub> على التوالي 650000، 44000 mgO<sub>2</sub>/l وبالنظر إلى طبيعة الرشاحة وملوثاتها، فقد اختيرت تقنية التجويف الهيدروديناميكي (Hydrodynamic Cavitation (HDC) وذلك بهدف تخفيض الحمل العضوي وتحطيم المركبات العضوية المعقدة فيها، بما يهيئها للمعالجات اللاحقة. تم تحقيق كفاءة إزالة بنسبة 33.33% بعد زمن تجويف 135 دقيقة بالنسبة للـ COD، في حين أنه لم يلاحظ أي تغير بالنسبة لمؤشر الـ BOD<sub>5</sub>. أظهرت النتائج أن طريقة (HDC) هي طريقة فعالة للمعالجة الأولية للرشاحة بما يؤدي إلى زيادة الكفاءة في المعالجات اللاحقة مع تخفيض في الزمن والكلف الاقتصادية.

**الكلمات المفتاحية:** معالجة الرشاحة، النفايات العضوية، الأسمدة الهوائية، التجويف الهيدروديناميكي.

\* مدرس - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* مديرة البيئة في طرطوس - طرطوس - سورية.

\*\*\* طالبة ماجستير - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. البريد الإلكتروني

alaa90suleiman@gmail.com

## مقدمة:

تشكل النفايات البلدية الصلبة (MSW (Municipal Solid Wastes مشكلة بيئية واقتصادية واجتماعية رئيسة في جميع أنحاء العالم، ويرجع ذلك أساساً إلى حجم النفايات المتزايد مع ازدياد عدد سكان العالم. علاوة على ذلك، فقد أصبحت المتطلبات البيئية أكثر صرامة فيما يتعلق بحماية المياه الجوفية والسطحية، الأمر الذي يجعل معالجة الرشاحة الناتجة عن هذه النفايات من الاهتمامات البيئية الرئيسية (Renou et al., 2008). تتنوع طرائق التخلص من النفايات ومعالجتها تبعاً لعوامل مختلفة أهمها: تركيب النفايات النوعي، المتطلبات الصحية، الظروف الاقتصادية، توفر المساحات اللازمة. حيث تشمل الأشكال العامة لمعالجة النفايات والتخلص منها طرائق عديدة: الترميد، الطمر، الطرق البيوحرارية، المعالجة الميكانيكية البيولوجية والتي تشمل: المرحلة الميكانيكية التي تتم فيها عمليات الفرز وإزالة المواد القابلة للتدوير والمرحلة البيولوجية التي يتم فيها تحويل الجزء العضوي المفروز إلى سماد من خلال عملية الأسمدة الهوائية للنفايات العضوية (Composting) أو إنتاج الغاز الحيوي من خلال التخمر اللاهوائي لهذه النفايات (Anaerobic Fermentation) (Shahin et al., 2018).

تسبب النفايات نوعين من التلوث والذي بدوره ينتقل إلى البيئة المحيطة في حال لم تتم إدارته بشكل جيد ويتمثل هذا التلوث في الرشاحة وهي المياه المتسربة عبر النفايات، والتي تعتبر مصدر لتلوث التربة والمياه الجوفية والسطحية، كما أنّ الغاز الحيوي الناتج عن تخمر المواد العضوية يعتبر مصدراً لتلوث الهواء (Fellner, 2005). تتكون النفايات العضوية من مواد تحتوي على نسبة عالية من الماء بالإضافة إلى ذلك ينتج الماء أثناء عمليات التحلل الحيوي للنفايات العضوية، وخلال هذه العمليات يتسرب هذا الماء ويشكل ما يعرف بالرشاحة (Brown et al., 2013).

في السنوات الأخيرة، تم توجيه السياسة الدولية لإدارة النفايات البلدية الصلبة نحو تقنيات إعادة التدوير، ويعود ذلك للمحتوى العضوي العالي لهذه النفايات ووجود إمكانات كبيرة للاستفادة منها. هناك تقنيات مختلفة لإعادة تدوير النفايات العضوية وأهمها عملية الأسمدة (Composting). إلا أن مشكلة الرشاحة التي تنتج عن هذه العملية تبقى قائمة لما تحويه من حمولات عضوية عالية الأمر الذي يحول دون تخزينها (Trujillo et al., 2006).

تحدث عمليات التحلل الحيوي ضمن النفايات العضوية الرطبة من خلال العديد من العمليات الحيوية والفيزيائية والكيميائية، حيث يتم تحلل هذه النفايات على ثلاث مراحل: مرحلة التحلل الهوائية، مرحلة تولد الحموض العضوية، مرحلة تشكل غاز الميثان. وبالتالي فإن الرشاحة الناتجة عن هذه العمليات تكون ملوثة جداً وتعتمد درجة التلوث على: تركيب النفايات، درجة الحرارة، درجة الحموضة بالإضافة إلى نوع البكتيريا التي تقوم بعمليات التحلل الحيوي من خلال النفايات، وتزداد كميتها بزيادة الهطل المطري. وبالتالي فإن الرشاحة الناتجة هي عبارة عن مياه شديدة التلوث تحتوي على مركبات متنوعة ومعقدة: مواد عضوية وغير عضوية، مركبات سامة ومعادن ثقيلة، التي تكون معلقة أو منحلة وبتراكيز عالية (Rong, 2009 ؛ Liu, 2013).

تساهم كافة العمليات الحيوية والعمليات الفيزيائية والكيميائية في تشكيل سائل الرشاحة الذي يتولد ويبدأ بالتدفق عبر طبقات النفايات مساهماً في حل الكثير من المواد العضوية واللاعضوية التي يمر عليها، يساعده في ذلك الطبيعة الأكاله لهذا السائل والأس الهيدروجيني المنخفض له، ويعتمد تشكل الرشاحة على المرحلة التي قطعها النفايات من التحلل وطبيعة النفايات، حيث نجد أن رشاحة السنوات القليلة الأولى حاوية على حمل عضوي قابل للتحلل بسهولة،

أي سيحدث استنفاد سريع للأوكسجين ضمن الرشاحة، مما سيؤدي بالضرورة إلى انخفاض الأس الهيدروجيني للمياه وارتفاع مؤشرات التلوث العضوية المتمثلة ب-COD، BOD<sub>5</sub>. ومع مرور الزمن تتخفف تراكيز المادة العضوية في الرشاحة وتقل كميات الغازات الناجمة عن عمليات التحلل (Juneidi, 2017).

تقسم تقنيات معالجة الرشاحة بشكل عام إلى نوعين أساسيين هما المعالجة البيولوجية والمعالجة الفيزيوكيميائية (Raghab *et al.*, 2013 ; Liu, 2013).  
أهم طرائق المعالجة البيولوجية:

الحماة المنشطة (AS (Activated Sludge)، مفاعل الدقائق المتسلسلة ( Sequencing Batch Rotating )، المرشحات البيولوجية (TR(Trickling Filters). الأقرص البيولوجية الدوارة ( Rotating Moving Bed Biofilm )، مفاعل سرير طبقة الكتلة الحيوية المتحركة ( RBC(Biological Contactor MBBR(Reactors)، المفاعل البيولوجي اللاهوائي (ABR (Anaerobic Biological Reactor).  
أهم طرائق المعالجة الفيزيوكيميائية:

التخثير والتلبد (Coagulation-Flocculation)، التعويم (Flotation)، الامتزاز بالكربون المنشط (Activated Carbon Adsorption)، الترسيب الكيميائي (Chemical Precipitation)، المعالجة الكهروكيميائية (Electrochemical Treatment)، التبادل الأيوني (Ion Exchange)، الترشيح بالأغشية (Membrane Filtration)، الأكسدة الكيميائية وعمليات الأكسدة المتقدمة (Chemical Oxidation And AOP (Advanced Oxidation Process).

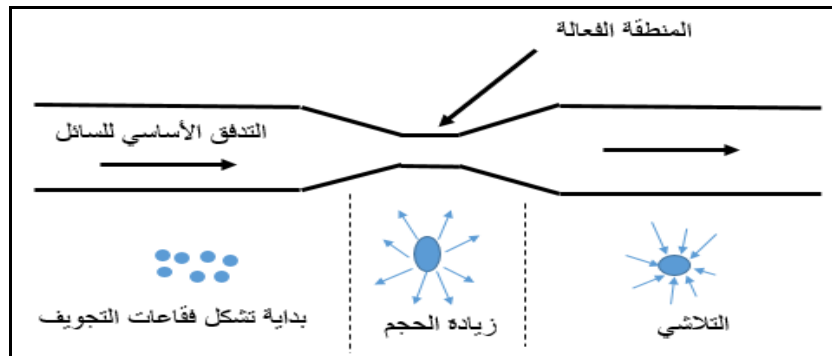
(Wiszniewski *et al.*, 2006 ; Kurniawan *et al.*, 2006 ; Aziz *et al.*, 2014 ; Stegmann & Heyer, 2001 ; Liu, 2013).

تتميز طرائق المعالجة التقليدية بفعاليتها المنخفضة في إزالة وتفكيك الملوثات الموجودة في الرشاحة. وبالتالي تم في السنوات الأخيرة اللجوء إلى تطبيق تقنيات الأكسدة المتقدمة AOP والتي تعتمد على توليد الجذور الحرة وخاصة جذور الهيدروكسيل شديدة التفاعل مما يؤدي إلى أكسدة هذه الملوثات. إحدى هذه التقنيات هي تقنية التجويف الهيدروديناميكي (Korniluk & Ozonek, 2013; Thanekar & Gogate, 2018). حيث تتمثل الآلية الأساسية في تفكيك الملوثات باستخدام التجويف الهيدروديناميكي في توليد الجذور الحرة تحت ظروف قاسية من الضغط ودرجة الحرارة (Korniluk & Ozonek, 2013).

يتم تعريف التجويف بأنه ظاهرة يتم فيها تكوين وانفجار فقاعات ميكروية (تجاويف) خلال فترات قصيرة جداً ميكرو- ميلي (ثانية) في مواقع مختلفة في المفاعل تدعى النقاط الساخنة ذات درجات حرارة تتراوح بين (1000-10000) كلفن وضغوط بحدود (100-1000) بار وبالتالي تنتج طاقة كبيرة جداً خلال فترة قصيرة من الزمن وعند مرور السائل المتدفق عبر الأنبوب المتغير الأقطار تزداد سرعة السائل، وهذا التغير في الأقطار يحدث فرق في الضغط (مثل أنبوب فينتوري) وعندما تنهار الفقاعات تتولد الجذور الحرة مما يؤدي إلى أكسدة الملوثات (Carpenter *et al.*, 2017) ويبين الشكل (1) كيفية حدوث ظاهرة التجويف.

كما ويعرف التجويف بأنه التحول السريع للسائل من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية حيث تتشكل فقاعات التجويف ومن ثم تنهار في النهاية (Thanekar & Gogate, 2018). يؤدي هذا الانهيار في التجاويف إلى إطلاق كمية كبيرة من الطاقة تؤدي إلى انفصال جزيئات الماء إلى جذورالهيدروكسيل (Nowicka & Dębowski, 2019)، كما يؤدي هذا الانهيار العنيف إلى تشكل اجهادات قص ميكانيكية عالية (Neczaj *et al.*, 2005).

يتم خلال عملية التجويف تحويل المركبات العضوية المعقدة والسامة مثل الهيدروكربونات الكلورة، المركبات الفينولية والعطرية، المبيدات، الأصباغ والمركبات الصيدلانية، إلى أحماض عضوية قصيرة السلسلة و  $CO_2$  وماء وأيونات غير عضوية كمنتجات ثانوية (Thanekar & Gogate, 2018).



الشكل (1) كيفية حدوث ظاهرة التجويف

تتمثل الآلية الأساسية في تفكيك الملوثات باستخدام التجويف الهيدروديناميكي في توليد الجذور الحرة تحت ظروف قاسية من الضغط ودرجة الحرارة (Ozonek, 2012; Korniluk & Ozonek, 2013). يمكن التحكم في الأجهزة المستخدمة لإحداث التجويف الهيدروديناميكي عن طريق تغيير البارامترات المختلفة مثل شكل أو حجم الأنبوب الذي ستمر العينة من خلاله أو التحكم في الوقت خلال عملية التجويف أو التغيير في قوة المضخة من حيث الضغط والتدفق (Abrahamsson, 2015).

تمتلك تقنية التجويف الهيدروديناميكي العديد من المزايا أهمها بساطة التصميم بالإضافة إلى تكاليف الصيانة المنخفضة، حيث تتمثل الكلفة فقط في الطاقة اللازمة لتشغيل المضخة اللازمة لتوليد الضغط (Loraine, 2007). توجد العديد من الدراسات التي قامت باستخدام تقانة التجويف الهيدروديناميكي مع طرق أخرى من تقانات الأكسدة المتقدمة لمعالجة المياه الحاوية على تراكيز عالية من المواد العضوية أو معالجة مياه الصرف الصحي (Chakinala et al., 2009; Thanekar & Gogate, 2018). كما تم استخدام هذه الطريقة كمعالجة أولية يليها معالجة لاحقة وذلك في مصانع إنتاج الغاز الحيوي وأعطت نتائج جيدة (Nowicka & Dębowski, 2019). لذلك تم في هذا البحث تقييم كفاءة هذه التقانة في معالجة الرشاحة الناتجة عن معمل وادي الهدة في طرطوس.

## أهمية البحث وأهدافه:

### مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث الأساسية في التلوث الحاصل لمصادر المياه السطحية والجوفية، إضافة إلى تلوث التربة في المنطقة المحيطة بمعمل وادي الهدة في طرطوس (حالة الدراسة)، ويعود ذلك لسببين أساسيين هما: أولاً: احتواء الرشاحة على تراكيز عالية جداً من المواد العضوية وغير العضوية بالإضافة إلى إمكانية احتوائها على تراكيز منخفضة من المعادن الثقيلة.

ثانياً: عدم وجود منظومة لمعالجة هذه الرشاحة الناتجة عن عملية الأسمدة الهوائية للنفايات العضوية ضمن المعمل. وقد انعكس هذا التلوث سلباً على البيئة بشكل عام، وشكل إزعاجاً للسكان في هذه المنطقة.

### أهمية البحث

استناداً إلى مشكلة البحث، فإن أهمية البحث تتجلى من خلال حماية مصادر المياه السطحية والجوفية بالقرب من منطقة الدراسة وضمنها، الذي بدوره يعكس إيجابياً على التربة بحيث تكون المياه بعد المعالجة ضمن الحدود المسموحة. كل ما سبق يساهم في التقليل من التلوث البيئي بالإضافة إلى تقليل الضرر الحاصل على السكان في المنطقة المحيطة بالمعمل.

### هدف البحث

- يهدف البحث إلى تقييم كفاءة تقانة التجويف الهيدروديناميكي في معالجة الرشاحة الناتجة عن عملية الأسمدة الهوائية للنفايات العضوية (مصفوفات السماد) في معمل وادي الهدة في طرطوس. وذلك من خلال المراحل التالية:
- 1- توصيف الرشاحة الناتجة عن مصفوفات السماد وتحديد خصائصها عن طريق أخذ عينات من الرشاحة وتحليلها مخبرياً (تحاليل فيزيائية وكيميائية).
  - 2- تصميم جهاز التجويف الهيدروديناميكي وتقييم مدى كفاءته في معالجة الرشاحة الناتجة عن عملية الأسمدة الهوائية.

### طرائق البحث ومواده:

#### 1- منطقة الدراسة

يقع معمل وادي الهدة على بعد 13 كم جنوب شرق مركز محافظة طرطوس شمال طريق عام صافيتا-طرطوس في قرية الفطاسية كما هو مبين في الشكل (2). تبلغ مساحة أرض المعمل حوالي 100 دونم. يستقبل المعمل النفايات البلدية الصلبة من محافظة طرطوس وذلك عن طريق تجميعها في 9 محطات ترحيل موزعة على مساحة المحافظة. تم تصميم هذا المعمل لاستقبال ومعالجة 315 طن من النفايات البلدية الصلبة يومياً خلال 8 ساعات عمل، كما يمكن زيادة طاقته إلى 630 طن/يوم عند العمل بوردتين (16 ساعة عمل). يعتمد المعمل على عملية المعالجة الميكانيكية البيولوجية (MBT (Mechanical Biological Treatment) لمعالجة النفايات البلدية الصلبة الناتجة عن محافظة طرطوس (Hasan, 2016).

تهدف المعالجة الميكانيكية إلى فصل النفايات المختلطة إلى الأجزاء العضوية وغير العضوية، والمواد التي يمكن إعادة استخدامها وهذا يساهم في الحد من حجم النفايات ويوفر الخصائص المثلى للنفايات من أجل المعالجة البيولوجية. وتستخدم هذه الطريقة لمعالجة النفايات الصلبة التي تجمع بشكل مختلط، وتشمل هذه العملية مرحلتين: المرحلة الأولى: ميكانيكية، يتم فيها فرز مكونات النفايات وإزالة المواد القابلة لإعادة التدوير. المرحلة الثانية: بيولوجية، يتم فيها معالجة الجزء العضوي الناتج عن عمليات الفرز في المرحلة الميكانيكية بيولوجياً بتحويله إلى سماد (Compost)، حيث تتم معالجة الجزء العضوي في المعمل بطريقة الأسمدة الهوائية.

تتكون عملية فصل وفرز ومعالجة النفايات داخل المعمل من المراحل التالية:

- المرحلة الأولى: استقبال النفايات وتجهيزها.
- المرحلة الثانية: فرز النفايات وفصلها.
- المرحلة الثالثة: معالجة النفايات العضوية بنظام الأسمدة الهوائية (التخمير الهوائي) وإنضاجها.

■ المرحلة الرابعة: التجهيز النهائي للمنتج.



الشكل (2) صورة جوية لموقع معمل وادي الهدة

## 2 - توصيف الرشاحة الناتجة عن مصفوفات السماد وتحديد خصائصها

تم توصيف الرشاحة الناتجة عن مصفوفات السماد من خلال أخذ عينات فصلية من خزان تجميع الرشاحة، وهو عبارة عن خزان بيتوني أرضي. حيث تم قياس وتحليل كلاً من البارامترات التالية: COD ، BOD<sub>5</sub> ، النترات NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ، الفوسفات PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ، درجة الحموضة pH ، المواد الصلبة المنحلة TDS ، الناقلية الكهربائية EC، بعض المعادن الثقيلة كالرصاص Pb والكاديوم Cd.

### بعض الأجهزة المستخدمة:

- جهاز حقلقي لقياس الأس الهيدروجيني (pH Meter) موديل 7011.
- جهاز حقلقي لقياس الناقلية والمواد الصلبة المنحلة (EC/TDS/Temp Combo Meter) موديل COM-100.
- جهاز مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) UV-630 من شركة Jasco.
- جهاز الامتصاص الذري (Atomic Absorption) AA الشركة المصنعة Shimadzu.

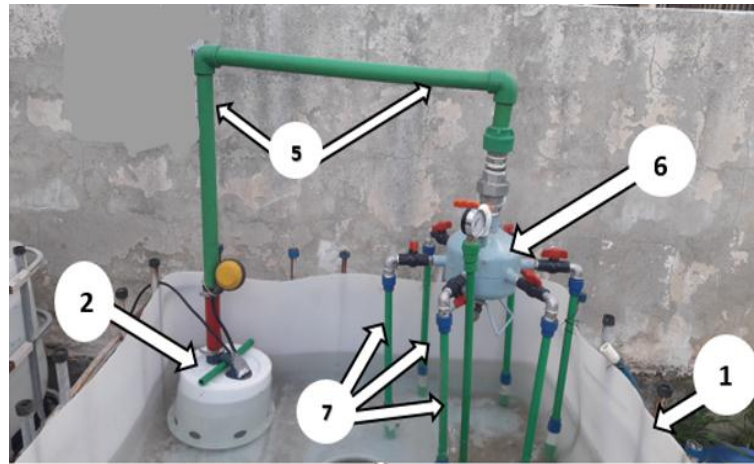
تم إجراء التجارب المخبرية في مخابر المعهد العالي لبحوث البيئة وفي مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين وذلك وفقاً للمعايير والطرق القياسية العالمية المعتمدة.

### 3- تصميم الجهاز:

تم من خلال البحث إحداث التجويف الهيدروديناميكي عن طريق تغيير قطر الأنبوب الذي ستمر عينة الرشاحة ضمنه، بالإضافة إلى التحكم بالوقت خلال عملية التجويف. يبين الشكل (3) تجهيزات منظومة التجويف الهيدروديناميكي التي تم تصميمها في هذا البحث. حيث تتألف هذه المنظومة من:

1- حوض من البولي إيثيلين بأبعاد (100×120×50) cm وضع فيه 200L من الرشاحة التي تم إحضارها من خزان تجميع الرشاحة الناتجة عن مصفوفات السماد في معمل وادي الهدة.

- 2- مضخة Pump Top Vortex من شركة Pedrollo :H:6.5-1.5 m Q :20-180 L\min .
- 3- مقاييس ضغط German Type لقياس ضغط الماء.
- 4- صمامات.
- 5- أنابيب وتوصيلات.
- 6- موزع كروي نصف قطره (10 cm)، وصلت به ستة خطوط تجويف كما هو مبين في الشكل (4).
- 7- خطوط التجويف.



الشكل (3) منظومة التجويف الهيدروديناميكي



الشكل (4) الموزع الكروي وخطوط التجويف الخاصة بمنظومة التجويف الهيدروديناميكي

- 1- حوض من البولي ايثيلين وضعت فيه الرشاحة
- 2- مضخة
- 3- مقياس ضغط
- 4- صمامات
- 5- أنبوب قطره (1.25 inch = 31.75mm)
- 6- موزع كروي نصف قطره (10 cm).
- 7- أنابيب التجويف (خطوط التجويف بقطر 0.5inch =12.7mm).

تقوم المضخة بضخ الرشاحة الموجودة ضمن الحوض إلى أنبوب قطره (1.25 inch = 31.75mm) موصول مع موزع كروي نصف قطره (10 cm) وصلت به ستة خطوط تجويف بقطر (0.5 inch =12.7mm)، يبلغ الطول الكامل لخط التجويف (60 cm). تسمح المضخة بإعادة تدوير الرشاحة ضمن خطوط التجويف خلال زمن معين. تم



تصميم هذه المنظومة ووضعها في مركز تكنولوجيات معالجة المياه في جامعة تشرين والواقع قرب الودعتين السكنيتين 17 و 18 والتابع لقسم هندسة النظم البيئية في المعهد العالي لبحوث البيئة.

### النتائج والمناقشة:

#### أولاً- نتائج توصيف الرشاحة

تبين الجداول التالية نتائج توصيف الرشاحة الناتجة عن عملية الأسمدة الهوائية للنفايات العضوية في معمل وادي الهدة في طرطوس خلال فصول السنة. حيث تم قياس البارامترات التي تتعرض لتغيرات جوهرية وهي: COD،  $BOD_5$ ،  $NO_3^-$ ،  $PO_4^{-3}$ ، وقد تم التصميم اعتماداً على هذه البارامترات، باعتبار أن البارامترات الأخرى المقاسة قد تساعد في تفسير النتائج.

الجدول (1) نتائج توصيف الرشاحة بتاريخ 13/6/2018

البارامتر	$BOD_5$ (mg\l)	COD (mg\l)	$NO_3^-$ (mg\l)	$PO_4^{-3}$ (mg\l)	EC ( $\mu$ S/cm)	TDS (mg\l)	pH	T(c)
القيمة	4000	7360	518.31	32.76	727	393	6.8	28.9

الجدول (2) نتائج توصيف الرشاحة بتاريخ 1/8/2018

البارامتر	$BOD_5$ (mg\l)	COD (mg\l)	$NO_3^-$ (mg\l)	$PO_4^{-3}$ (mg\l)
القيمة	44000	65000	3864.12	376.56

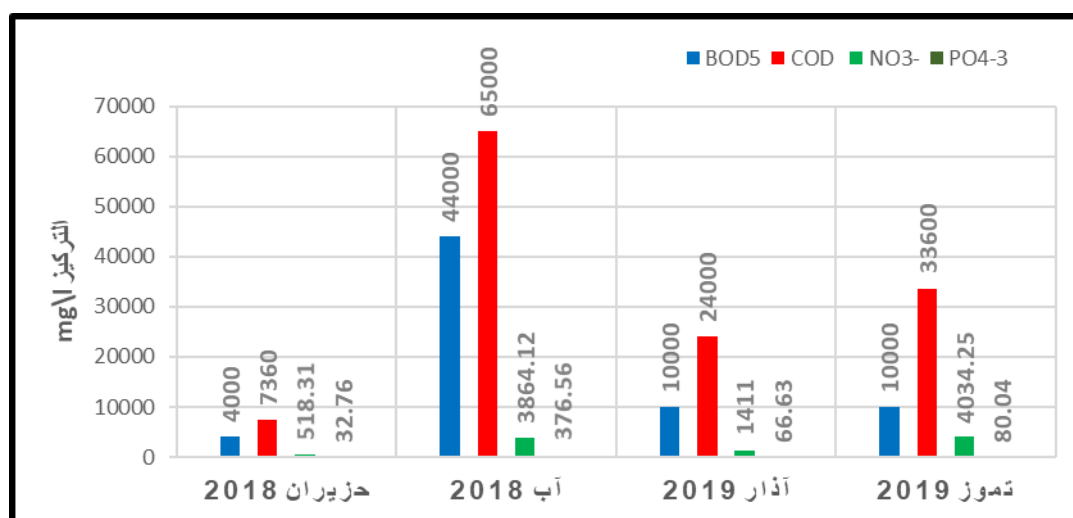
الجدول (3) نتائج توصيف الرشاحة بتاريخ 18/3/2019

البارامتر	$BOD_5$ (mg\l)	COD (mg\l)	$NO_3^-$ (mg\l)	$PO_4^{-3}$ (mg\l)	EC ( $\mu$ S\cm)	TDS (mg\l)	Cd (mg\l)	Pb (mg\l)	T(c)
القيمة	10000	24000	1411	66.63	25400	12100	0.137	2.11	14.9

الجدول (4) نتائج توصيف الرشاحة بتاريخ 13/6/2019

البارامتر	$BOD_5$ (mg\l)	COD (mg\l)	$NO_3^-$ (mg\l)	$PO_4^{-3}$ (mg\l)	EC ( $\mu$ S/cm)	TDS (mg\l)	pH	T(c)
القيمة	10000	33600	4034.25	80.04	77525	39287.50	8.13	28.73

كما يبين الشكل (5) مقارنة بين قيم تراكيز البارامترات المشتركة في عملية توصيف الرشاحة.



الشكل (5) مقارنة بين قيم التراكيز لبعض البارامترات خلال فترات أخذ عينات الرشاحة

أظهرت النتائج السابقة التفاوت في قيم التراكيز لأغلب مؤشرات التلوث المقاسة حيث بلغت أعلى قيمة لمؤشر الـ COD حدود 65000 mg\l ولمؤشر الـ  $BOD_5$  حدود 44000 mg\l هذه القيم المرتفعة تدل على المحتوى العضوي المرتفع جداً للرشاحة والذي بدوره سينتقل إلى المياه أو التربة وتسبب تلوثها في حال لم تتم معالجته بالشكل الأمثل. بالنسبة للقيم الدنيا فكانت الـ COD 7360 mg\l بالنسبة للـ  $BOD_5$  وقد يعزى هذا التفاوت في القيم لعدة عوامل مثل: طبيعة المادة المتخمرة، الظروف المناخية كالهطل المطري حيث يعد الهطل المطري مرتفعاً نسبياً في منطقة الدراسة، آلية التخمر الحاصلة والمتمثلة بعملية الأسمدة الهوائية وكيفية تأمين الشروط المثلى لعملية التخمر كعدد مرات التقليب وعمليات الترطيب الدورية لمصفوفات السماد.

لوحظ أيضاً من خلال أحد التحاليل لعينات الرشاحة والمبينة في الجدول (3) ارتفاع قيم تراكيز المعادن الثقيلة المقاسة (الكاديوم والرصاص) حيث بلغ تركيز الكاديوم 0.137 mg\l والرصاص 2.11 mg\l وبالتالي تتجاوز هذه القيم التراكيز المسموحة لوجود العناصر الثقيلة في الرشاحة، وذلك حسب المواصفة القياسية السورية رقم 2580 والمتعلقة بالمخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية والمنتبهة إلى شبكة الصرف العامة. هذه العناصر التي تصل إلى النفايات الصلبة عن طريق البطاريات والتي لا يمكن حجزها من خلال عملية الفرز الأولي ضمن المعمل. كل ما سبق يجعل من الصعب معالجة الرشاحة بالطرق البيولوجية التقليدية لذلك كان لا بد من اللجوء إلى المعالجة بطرق الأكسدة المتقدمة والمتمثلة حسب دراستنا بتقنية التجويف الهيدروديناميكي.

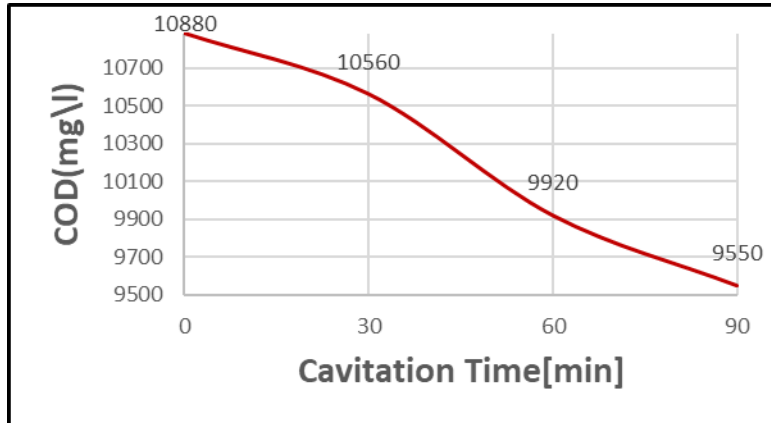
### ثانياً- نتائج تشغيل الجهاز

تم إحضار 80 لتر من الرشاحة من معمل وادي الهدة في طرطوس ووضعت ضمن الحوض الحاوي على منظومة التجويف الهيدروديناميكي، حيث تم تمديد الكمية حتى أصبح الحجم ضمن الحوض 200 لتر، وذلك نظراً لصعوبة إحضار كميات كبيرة من الرشاحة من المعمل. ومن ثم تم حساب التراكيز الابتدائية. تم تشغيل الجهاز لمدة من الزمن. تم إجراء ثلاث تجارب وذلك لدراسة تأثير زمن التجويف على كفاءة المعالجة. حيث تم اعتماد هذا الزمن كقيمة متغيرة وبقية البارامترات كالضغط ودرجة الحرارة والشكل الهندسي متغير الأقطار بقيت كما هي. تم اختيار زمن تجويف 30 دقيقة بين كل قياس في التجربة الأولى، و60 دقيقة بين كل قياس في التجربة الثانية، و45 دقيقة في التجربة الثالثة. الاختلاف بين التجارب الثلاث من حيث عامل الزمن كان الهدف منه الحصول على الزمن الذي يعطي أفضل كفاءة (الزمن المثالي) وبأقل تكلفة.

### التجربة الأولى

تم خلال التجريبتين الأولى والثانية دراسة تأثير زمن التجويف على كفاءة المعالجة، حيث تم اعتبار الانخفاض في مؤشر الـ COD مع الزمن هو المقيم الأساسي للتجربة. لم يتم تغيير درجة حرارة العينة خلال التجربة وبقيت كما هي والمتمثلة بدرجة حرارة الوسط المحيط، أما بالنسبة بالضغط لم يتمكن من تغيير قيم الضغط الناتجة كون امكانيات التحكم بالضغط محدودة.

قيمة الضغط قبل التجويف 0.6 bar، وقيمة الضغط بعد التجويف 0.1 bar، فرق الضغط 0.5 bar، قيمة التدفق 180L/min، الفاصل الزمني بين كل قياس 30 min. ويبين الشكل (6) تغيرات قيمة الـ COD مع الزمن.

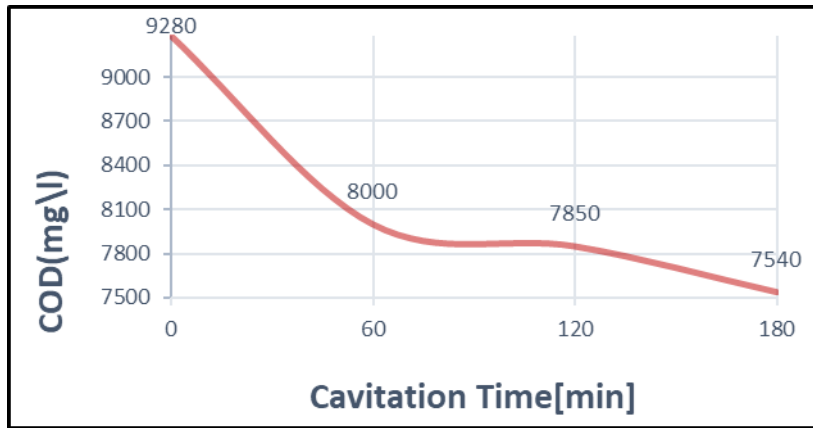


الشكل (6) تغيرات قيمة الـ COD مع الزمن

تم تحقيق كفاءة إزالة 12.22% بالنسبة لمؤشر الـ COD بعد زمن تجويف 90 min. كما تبين من خلال تشغيل الجهاز ظهور روائح خلال الساعة الأولى من بداية تشغيل الجهاز وهذا يدل على حصول عمليات التفكك للمركبات العضوية. على الرغم من ذلك تعتبر درجة التمعدن المحققة باستخدام التجويف الهيدروديناميكي غير كافية وذلك بسبب المعدل المحدود لتوليد الجذور الحرة ( $OH^*$ )، وبالتالي فإن الجمع بين طريقة التجويف الهيدروديناميكي مع طريقة معالجة أخرى يؤدي إلى زيادة توليد الجذور الحرة بالتالي الزيادة في تفكك الملوثات الذي ينعكس إيجاباً على كفاءة الإزالة.

**التجربة الثانية**

تم في التجربة الثانية أخذ عينة كل 60 دقيقة وملاحظة التغير في مؤشر الـ COD وحساب كفاءة المعالجة اعتماداً على ذلك. في حين بقيت البارامترات الأخرى وظروف التشغيل كما في التجربة الأولى. قيمة الضغط قبل التجويف 0.6 bar، وقيمة الضغط بعد التجويف 0.1bar، فرق الضغط 0.5 bar، قيمة التدفق 180 L/min، الفاصل الزمني بين كل قياس 60min. ويبين الشكل (7) تغيرات قيمة الـ COD مع الزمن.



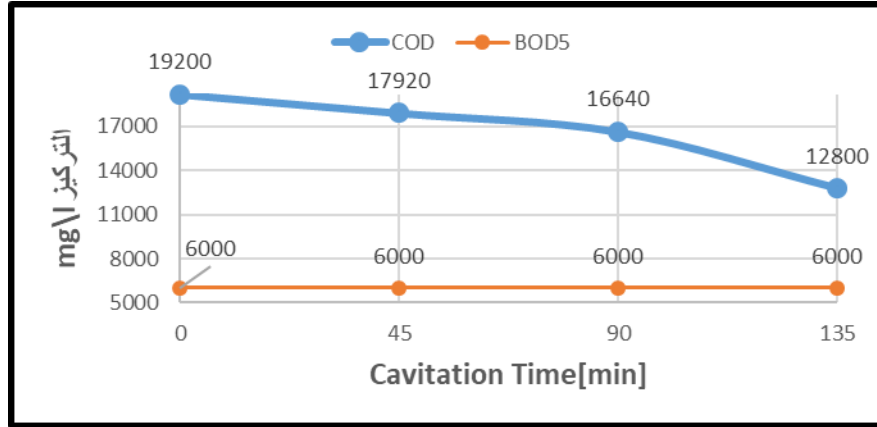
الشكل (7) تغيرات قيمة الـ COD مع الزمن

تم تحقيق كفاءة إزالة 18.75% بالنسبة لمؤشر الـ COD بعد زمن تجويف 180 min. حيث أنه يمكن زيادة كفاءة الإزالة من خلال التحكم في الضغط ولكن الإمكانيات المحدودة للمضخة دفعت باتجاه العمل على بارامتر آخر وهو الزمن.

**التجربة الثالثة**

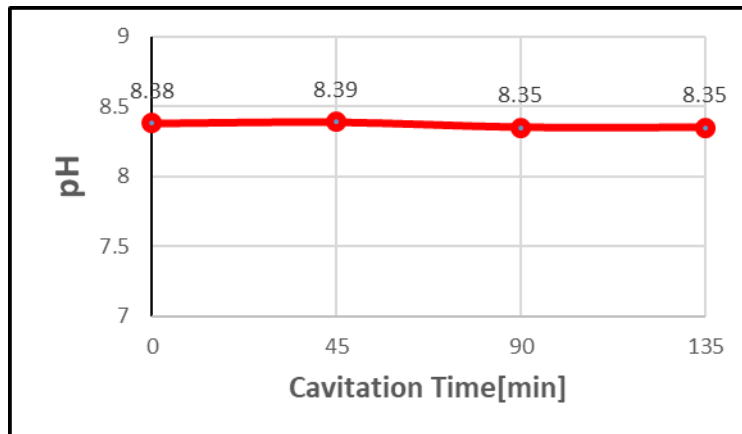
تم إحضار عينة رشاحة جديدة من المعمل وبنفس الحجم السابق في التجريبتين الأولى والثانية، وبسبب عدم ملاحظة أي تغييرات جوهرية في كفاءة المعالجة في التجريبتين الأولى والثانية، لذلك تم اختيار فترات زمنية مختلفة عن التي تم اختيارها في التجريبتين الأولى والثانية وملاحظة التغير في مؤشر الـ COD. أما بالنسبة لقيم الضغط والتدفق والحرارة بقيت كما هي في التجريبتين الأولى والثانية. إضافة لذلك تم قياس بارامترات إضافية عما سبق في ذلك لمعرفة التغييرات الأساسية ومدى كفاءة التصميم. وللمساعدة أكثر في تفسير النتائج.

قيمة الضغط قبل التجويف 0.6 bar، وقيمة الضغط بعد التجويف 0.1bar، فرق الضغط 0.5 bar، قيمة التدفق 180L/min، الفاصل الزمني بين كل قياس 45 min. ويبين الشكل (8) تغيرات قيمة الـ COD والـ BOD<sub>5</sub> مع الزمن.

الشكل (8) تغيرات قيمة الـ COD والـ BOD<sub>5</sub> مع الزمن

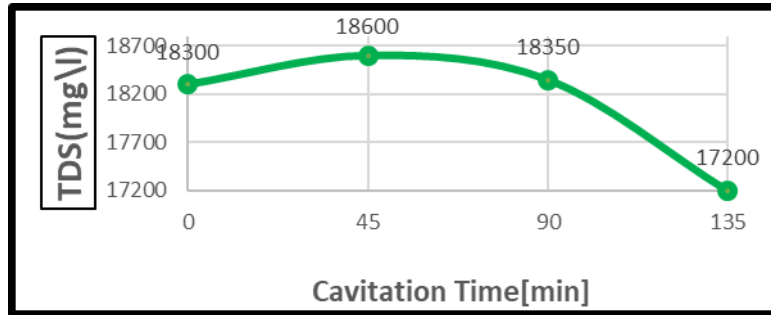
بلغت كفاءة الإزالة بالنسبة لمؤشر الـ COD 33.33% بعد زمن تجويف 135 min، في حين بقيت قيمة الـ BOD<sub>5</sub> ثابتة خلال عملية التجويف، وقد يعزى ذلك إلى تشكل المركبات العضوية الطيارة التي خرجت من المنظومة وأدت إلى تخفيض الحمل العضوي من خلال انخفاض مؤشر الـ COD. استناداً إلى نتائج التشغيل يمكن القول بأنه بزيادة الزمن تزداد كفاءة المعالجة ولكن التخفيض في قيم مؤشرات التلوث سيكون ضعيفاً بالمقارنة مع زيادة تكاليف الطاقة. ولذلك بدلاً من زيادة الزمن يمكننا تعديل بارامترات التشغيل الخاصة بعملية التجويف والذي يعتبر حلاً أفضل لتحسين عملية المعالجة.

أيضاً يلعب الرقم الهيدروجيني دوراً حيوياً في تحديد مدى تفكك الملوثات حيث أن القيم المنخفضة لـ pH العينة خلال عملية التجويف توفر إمكانات أكسدة أعلى من أجل عمليات التفكك (Thanekar & Gogate, 2018). يبين الشكل (9) تغيرات قيم الـ pH خلال عملية التجويف والتي تراوحت بين 8.35 كقيمة دنيا و 8.39 كقيمة عليا ويعود السبب في ذلك إلا أنه لم يتم ضبط pH العينة إلى قيمة مثالية قبل عملية التجويف وذلك لعدم إدخال أية مركبات كيميائية إضافية على المياه المعالجة. والذي ينعكس بطريقة غير مباشرة على تقليل الكلف المالية الكلية نتيجة عدم استخدام الإضافات الكيميائية.

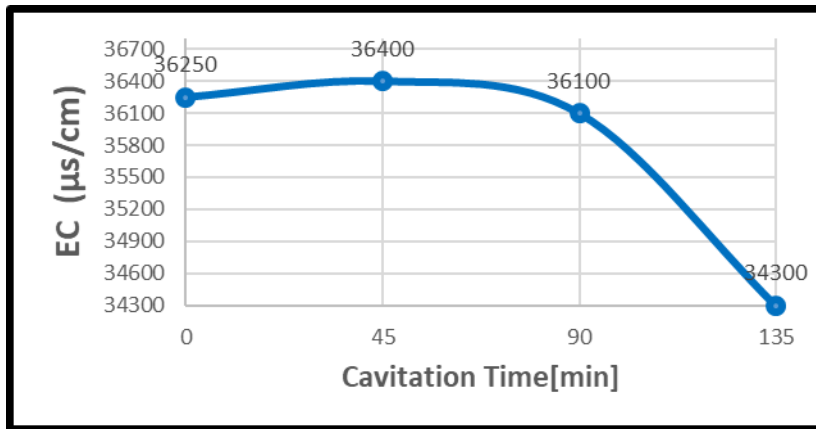


الشكل (9) تغيرات قيم الـ pH خلال عملية التجويف

ويبين الشكل (10) تغيرات قيم تراكيز المواد الصلبة المنحلة خلال عملية التجويف حيث بلغت كفاءة الإزالة 6 % بعد زمن تجويف 135 min، كما انخفضت قيمة الناقلية الكهربائية بمقدار ضئيل خلال عملية التجويف كما هو مبين في الشكل (11). وقد يفسر ذلك بأن عملية التجويف لوحدها غير كافية لتخفيض قيم مؤشرات التلوث وإنما يمكن اعتبارها كمرحلة أولية للمعالجة، تمهد للمعالجات اللاحقة.



الشكل (10) تغيرات قيم المواد الصلبة المنحلة خلال عملية التجويف



الشكل (11) تغيرات قيم الناقلية خلال عملية التجويف

### الاستنتاجات والتوصيات:

1. أظهرت نتائج توصيف الرشاحة القيم المرتفعة جداً لمؤشرات التلوث كمؤشري الـ COD والـ BOD<sub>5</sub> والتي تفوق المؤشرات الموجودة في مياه الصرف الصحي بأكثر من مائة ضعف، مما يؤدي إلى خطورة تصريف هذه الرشاحة بدون معالجة إلى الوسط المحيط بالمعمل.
2. تبين من خلال البحث أن استخدام طريقة واحدة لمعالجة الرشاحة لا تكون فعالة لإعطاء نتائج تحقق الكفاءة المطلوبة، ولذلك لا بد من استخدام نظام متكامل بالجمع بين أكثر من طريقة للمعالجة.
3. يمكن الحصول على كفاءة معالجة أكبر باستخدام عملية التجويف الهيدروديناميكي وذلك من خلال التغيير في بارامترات إضافية، مثل التغيير في التصميم الهندسي من حيث الشكل والأقطار، أو زيادة الضغط خلال فترات زمنية مختلفة. الذي بدوره يؤدي إلى زيادة تشكل الجذور الحرة مما ينعكس إيجاباً على كفاءة المعالجة.

4. يمكن الجمع بين طريقة التجويف الهيدروديناميكي مع طرق أخرى للمعالجة، واعتبار هذه الطريقة هي طريقة فعالة للمعالجة الأولية للرشاحة تمهد للمعالجات اللاحقة، كونها تتميز ببساطة التصميم وتكاليف صيانة منخفضة. الأمر الذي يؤدي إلى زيادة كفاءة المعالجات اللاحقة، وتخفيض الزمن اللازم للمعالجة،
5. استناداً إلى نتائج التشغيل الخاصة بطريقة التجويف الهيدروديناميكي والنتائج الإيجابية التي تم الحصول عليها، ولإكمال المخطط التكنولوجي لمعالجة الرشاحة، نقترح تصميم مفاعل بيولوجي لا هوائي مع نظام تحريك وتسخين كمرحلة ثانية للمعالجة. حيث أن عملية التجويف تقوم بتسهيل عملية التخمير اللاهوائي من خلال جعل المواد العضوية متاحة للبكتريا بشكل أفضل. مما يؤدي إلى تقليل زمن المعالجة الكلي. كل ذلك ينعكس إيجاباً على الكفاءة الإجمالية للمعالجة. إضافة إلى ما سبق يمكننا الاستفادة من هذه المنظومة المقترحة (المفاعل البيولوجي) في الحصول على الغاز الحيوي واستثماره.

### References:

- ABRAHAMSSON, L. *Improving Methane Production Using Hydrodynamic Cavitation As Pre-Treatment*, Master Thesis, Linköping University, Sweden, 2015, 52.
- AZIZ, Q. S., AZIZ, A. H., BASHIR, K. M., MOJIRI, A., *Municipal Landfill Leachate Treatment Techniques: An Overview*. Wastewater Engineering: Advanced Wastewater Treatment Systems, 2014, 208.
- BROWN, K., GHOSH DASTIDAR, J.A., HANMORE, J., FRAZEE, J., TONG, Z. T., *Membrane Bioreactor Technology: A Novel Approach to the Treatment of Compost Leachate*. Waste Management. Vol. 33, N<sup>o</sup>. 11, 2013, 2188-2194.
- CARPENTER, J., BADVE, M., RAJORIYA, S., GEORGE, S., SAHARAN, V. K., PANDIT, A. B., *Hydrodynamic Cavitation: an Emerging Technology for The Intensification of Various Chemical and Physical Processes in a Chemical Process Industry*. Reviews in Chemical Engineering. Vol. 33, N<sup>o</sup>. 5, 2017, 433-468.
- CHAKINALA G.A., GOGATE R.P., BURGESS E.A., BREMNER H.D., *Industrial wastewater treatment using hydrodynamic cavitation and heterogeneous advanced Fenton processing*, Chemical Engineering Journal. Vol. 152, N<sup>o</sup>. 2-3, 2009, 498-502.
- FELLNER, J., *Management of Leachate and Gas in Landfills. Landfill Management in Syria*. Workshop, Damascus University. Syria, Sept. 2005.
- HASAN, R. Mechanical Biological Treatment Role in Reducing Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfills (Case Study: Wady Alhaddeh (MBT) Plant, in Tartous), Master Thesis, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Syria, 2016, 147.
- JUNEIDI, H. Environmental Impact Assessment of Ain Alzarka Dumpsite (The Rehabilitation of Dumpsites in Tartous Province, solid waste directorate. Tartous, Syria, 2017.
- KORNILUK, M., OZONEK, J., *Investigation on Landfill Leachate Biodegradability Improvement by Use of Hydrodynamic Cavitation and Ozone*. Rocznik Ochrona Środowiska. Vol. 15, N<sup>o</sup>. 1, 2013, 124-135.
- KURNIWAN, T. A., LO, W. H., CHAN, G. Y. S., *Physicochemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachates*. Journal of Hazardous Materials. Vol. 129, N<sup>o</sup>. 1-3, 2006, 80-100.

- Limitation of Discharged Liquid Wastes of Economic Activities in Sewer Network. S.N.S: 2580 /2002. Syrian Arab Organization for Standardization and Metrology, Ministry of Industry, Syria.
- LIU, S., *Landfill Leachate Treatment Methods and Evaluation of Hedeskoga and Masalycke Landfill*, Master Thesis, Lund University, Sweden ,2013,77.
- LORAINÉ, G., *Liquid oxidation: Hydrodynamic cavitation for cost effective oxidation, Filtration & Separation*. Vol. 44, N°. 9, 2007, 16–18.
- NECZAJ, E., OKONIEWSKA, E., KACPRZAK, M., *Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor, Desalination*. Vol. 185, N°. 1-3, 2005, 357–362.
- NOWICKA, A., DĘBOWSKI, M., *Application of Hydrodynamic Cavitation for Improving Methane Fermentation of Sida hermaphrodita Silage*. *Energies*. Vol. 12, N°. 3, 2019, 526.
- OZONEK, J., *Application of Hydrodynamic Cavitation in Environmental Engineering*, CRC Press, LLC, UK. 2012, 138.
- RAGHAB, M.S., ABD EL MEGUID, M.A., HEGAZI, A.H., *Treatment of leachate from municipal solid waste landfill*. HBRC Journal. Vol. 9, N°. 2, 2013, 187-192.
- RENOU, S., GIVAUDAN, J.G, POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., MOULIN, P., *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 150, N°. 3, 2008, 468-493.
- RONG, L., *Management of Landfill Leachate*, Master Thesis, Tamk University of Applied Sciences, Tampere, Finland,2009, 45.
- SHAHIN, H., JAFFAR, R. HARBA, K. *Solid Waste Treatment*, Tishreen University Publications. Latakia, Syria. 2018.
- Stegmann, R., Heyer, K. U, *Leachate management: leachate generation, collection, treatment and costs*. Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft. 2001.on line at: <http://www.ifas-hamburg.de>
- TRUJILLO, D., FONT, X., S´ANCHEZ, A., *Use of Fenton reaction for the treatment of leachate from composting of different wastes*. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, Vol. 138, N°. 1, 201-204.
- THANEKAR, P., GOGATE, P., *Application of Hydrodynamic Cavitation Reactors for Treatment of Wastewater Containing Organic Pollutants: Intensification Using Hybrid Approaches*. *Fluids*. Vol. 3, N°. 4, 2018, 98.
- WISZNIOWSKI, J., ROBERT, D., SURMACZ-GORSKA, J., MIKSCH, K., WEBER, V. J., *Landfill leachate treatment methods: A review - Environmental chemistry letters*, Vol. 4, N°. 1, 2006, 51-61.