

## دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية للنفايات الصلبة العضوية المنزلية باستخدام المفاعل البيوحراري

شادي محمد تقلا\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup>. مهندس بيئة/ماجستير في الهندسة الصحية والبيئية، جامعة دمشق.

[shadi.takla@damascusuniversity.edu.sy](mailto:shadi.takla@damascusuniversity.edu.sy)

### الملخص:

دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية للنفايات الصلبة العضوية المنزلية باستخدام المفاعل البيوحراري تم في هذا البحث دراسة وتصميم وتنفيذ مفاعل بيوحراري تجريبي للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية للنفايات الصلبة العضوية وتأمين الماء المنزلي الساخن حسب الشروط المحلية في المنازل الريفية، وإنتاج السماد العضوي نتيجة للتخمر الهوائي للنفايات داخل هذا المفاعل. وقد تم اختيارنا كنموذج على مثل هذه التجمعات قرية بري الشرقي التابعة لمدينة سلمية في محافظة حماه وهي بلدة ريفية زراعية، بحيث نحصل على أقل تلوث بيئي ممكن وكذلك المحافظة على سلامة التربة والماء والهواء والتي تشكل دورها العناصر الثلاث الأساسية في بيئتنا.

وقد تم الحصول على نتائج تعطي مؤشرات واضحة على أن المفاعل البيوحراري قد حقق الغاية التي صمم من أجلها، حيث وصلت كمية الحرارة المخزنة باليوم إلى (5518 Wh)، وقد لوحظ عدم تأثر درجة حرارة المفاعل بدرجة حرارة الجو وإنما بتخمر النفايات العضوية وقد وصلت درجة حرارة المياه ضمن خزان المياه إلى (37°C) شتاءً وإلى (70°C) صيفاً. وتم التوصل تجريبياً إلى أن الاستفادة المرجوة من الطاقة الناتجة عن تخمر النفايات العضوية المنزلية والحقلية قد تمت وذلك من حيث درجة الحرارة التي وصلت إليها المياه فضلاً عن الأثر البيئي الواضح في تخفيض كمية النفايات الواصلة إلى المطمر الصحي وما ينتج عنه من أثر إيجابي في تخفيف تلوث الهواء والتربة والمياه الجوفية في منطقة المطمر ومن ناحية اقتصادية تخفيف كلفة جمع ونقل النفايات وزيادة عمر المطمر الصحي، إضافة إلى الحصول على سماد عضوي للنباتات المنزلية فيما لو تم اعتماد هذه المنظومة ضمن المناطق السكنية الريفية.

**الكلمات المفتاحية:** النفايات الصلبة العضوية- التخمر الهوائي- المفاعل البيوحراري- السماد العضوي- المطمر الصحي.

تاريخ الايداع: 2023/1/17

تاريخ القبول: 2023/3/19



**حقوق النشر:** جامعة دمشق –  
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق  
النشر بموجب CC BY-NC-SA

## Pilot Study to benefit from the Biomass Energy of the Household Organic Solid Waste by the biothermal reactor

**Shadi Mohammad Takla\*<sup>1</sup>**

\*<sup>1</sup>. Master degree at environment and sanitary engineering, Damascus university.  
[shadi.takla9@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:shadi.takla9@Damascusuniversity.edu.sy).

### Abstract:

Pilot Study to benefit from the Biomass Energy of the Household Organic Solid Waste.

In this research, a study, design and implementation of an experimental biothermal reactor was conducted to benefit from the biomass energy of organic solid waste and to secure hot domestic water according to local conditions in rural homes, and to produce the organic fertilizer resulting from the aerobic fermentation of solid waste inside this reactor.

We have chosen as a model for such gatherings, the village of Barri Al Sharqi, affiliated to Salamiyah city in the Hama governorate, which is an agricultural town - that we obtain the least possible environmental pollution as well as maintain the integrity of soil, water and air, which in turn constitute the three basic elements in our environment.

The results were obtained give clear indications that the biothermal reactor has achieved the goal for which it was designed, where the amount of heat stored daily reached (5518 Wh), and it was noted that the temperature of the reactor was not affected by the temperature of the weather but by the fermentation of organic waste, and the temperature of the water within the water tank has reached up to (37C) in winter and to (70C) in summer.

Consequently, The energy resulting from the fermentation of the waste and agricultural organic waste was utilized in terms of the temperature reached by the water as well as the clear environmental impact in reducing the amount of waste reaching the landfill and the positive impact resulting from the mitigating of air, soil and groundwater pollution in the landfill area and on the economic side of reducing the cost of collecting and transporting waste and increasing the operating age of the landfill.

**Keywords:** Organic solid waste, aerobic fermentation, biothermal reactor, organic fertilizer, sanitary landfill.

Received: 17/1/2023

Accepted: 19/3/2023



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

**المقدمة:**

تعتبر سوريا من البلدان النامية والتي تتصف بضعف الصناعات بشكل عام وبالتالي فإن نسبة النفايات الصناعية المطروحة قليلة نسبياً في حين تكون نسبة المواد العضوية في النفايات كبيرة يمكن أن تتجاوز 70 % (أصفري أحمد؛ المشعان مشعل، 2004).

تتركب المواد العضوية من بقايا الأطعمة من أغصان وأوراق الأشجار إضافة إلى الأوراق والمحارم، بينما تتركب المواد غير العضوية من بلاستيكية أو زجاجية ونشير هنا إلى أن قسم كبير من المواد البلاستيكية والزجاجية لا تطرح مع النفايات وإنما يتم استخدامها لأغراض أخرى ضمن المنازل.

(أصفري أحمد؛ المشعان مشعل، 2004)

تعتمد فكرة البحث على إعادة تدوير تلك النفايات العضوية المنزلية وتقطيعها ضمن مفاعل بيوحراري حيث يجري فيه تخمر هذه المواد ضمن شروط هوائية وبوجود رطوبة مناسبة لعمل البكتريا وضمان تصريف المياه الراشحة، ويجب أن يتم وضع المفاعل خارج المنزل على مسافة كافية لمنع دخول الروائح إلى المنزل وبحيث يوضع بالنسبة للمنزل في اتجاه معاكس لاتجاه الرياح. (Zhou X, Yang J, Xu S, Wang J, Zhou Q, Li Y, et al., 2020).

إن عملية التخمر الحاصلة ضمن المفاعل تؤدي إلى انطلاق طاقة حرارية تكون هذه الطاقة قليلة في الأيام الأولى لتزداد تدريجياً حتى تصل إلى درجة  $70^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$  بعد حوالي أسبوع وذلك في الشروط المثالية أي في حال عدم وجود فقد حراري حيث عندئذٍ قد تنزل درجة الحرارة حتى  $50^{\circ}\text{C}$  ومن المفضل أن تبقى هذه الدرجة ثابتة طيلة فترة عمل المفاعل باعتبار أن المواد العضوية توضع بشكل يومي تقريباً، ونذكر أن هذه الطاقة تتأثر بالمناخ العام أو درجة الحرارة الخارجية ولكنها يمكن أن تضيق إذا لم يتم الاستفادة منها وبالتالي استخدامها للمنازل الريفية لتأمين

الماء الصحي الساخن بشكل مستمر (صيفاً-شتاءً).

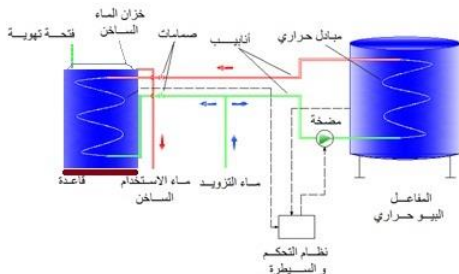
(Halkos, G.; Petrou, K.N., 2019).

بينما تتحول المواد الناتجة عند التخمر إلى أسمدة عضوية باعتبار أن النفايات المنزلية تحتوي على نسبة كبيرة من النفايات العضوية فإن عملية استخراج الأسمدة الزراعية منها تعتبر خطوة هامة للاستفادة من هذه الأسمدة والتقليل من الحجم الكلي للنفايات المطمورة مع العلم أن الأسمدة الناتجة تكون ذات مواصفات عالية الجودة وهكذا فإن أهميتها تكون زراعية بيئية واقتصادية في نفس الوقت. ولا بد - قبل استخدام هذه الأسمدة وبعد معرفة نسبة تفكك كل مادة عضوية- من مطابقة مواصفات هذه الأسمدة مع المواصفات القياسية المعتمدة. (محمد عابر، 2002).

وهكذا وباعتمادنا لهذه الطريقة من طرق المعالجة (المفاعل البيوحراري) نكون قد خفضنا من الوزن الكلي للنفايات وكذلك من التلوث البيئي الناتج عن النفايات وذلك بسبب عدم تشكل غاز الميثان والكبريت اللذين ينتجان عن التخمر اللاهوائي للمواد العضوية ضمن مقالب الطمر ونكون قد اختصرنا المساحات المشغولة بالنفايات والتي تكون عادة مأوى للحشرات والحيوانات الضارة. (Ispra, Italy, 2016; Edizione 2016).

**1. أجزاء منظومة العمل:**

سيتم فيما يلي وصف أجزاء منظومة العمل ومبدأ العمل بالتفصيل. كما هو موضح بالشكل (1) حيث تتألف منظومة العمل من الأجزاء التالية:



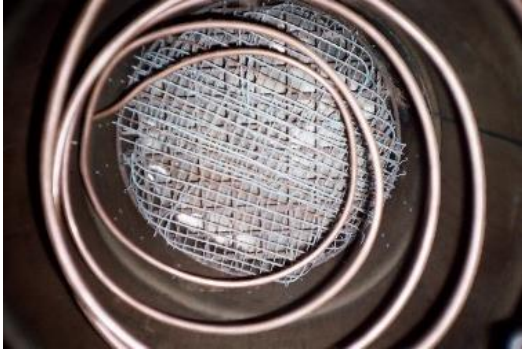
الشكل (1) مخطط تكنولوجي للمنظومة المقترحة

**1.1. المفاعل البيوحراري:**

نقلاً

دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية.....

شبكة معدني قطره يساوي القطر الداخلي للبرميل يرتفع بمقدار (10cm) عن قاعدة البرميل وتتراوح أقطار فتحاته (2-3)cm وعلى كامل المساحة الجانبية للبرميل أسفل الشبكة تم وضع ثقوب على صفين لتأمين التهوية اللازمة وفي القاعدة يوجد فتحة لتصريف الماء الراشح مركب عليها سكر ومصرف لصرف المياه الناتجة، كما تم فتح بوابة (40X20)cm تسمح بإزالة نواتج التخمر (السماد) من فوق وتحت الشبكة المعدني بين فترة و أخرى، وقد تم الاستعاضة عن الغطاء المعدني للبرميل بغطاء خاص يسمح بتمرير الهواء باتجاه واحد (من الأسفل للأعلى) نتيجة لفرق درجات الحرارة، ومن أجل القياس الدوري لدرجة حرارة المفاعل تم ثقب البرميل في منتصفه من أجل إدخال إبرة ميزان الحرارة، ومن أجل الحفاظ على درجة حرارة خزان المياه من الضياع تم عزل البرميل من الأسفل وعلى الجوانب بالستيروبور المتوضع بين طبقتي خيش وفوقهما وضعت طبقة من الصوف الزجاجي وتم لف الصوف بطبقة من النايلون، وتوضح الأشكال (3) ، (4) ، (5) المفاعل البيوحراري في مراحله المختلفة.



المفاعل البيوحراري هو عبارة عن خزان أسطواني ارتفاعه 1m وقطره 80cm تم تصنيعه محلياً من مادة الحديد المزيق سماكة 0.003m وحيث تم استخدام أرجل من نفس المعدن وإغلاق قاعدة الاسطوانة من الأسفل وتركه مفتوح من الأعلى وحيث تم استخدام قماش من نوع خاص لتغطية المفاعل وتصنيع فتحة فيها على طول قطر المفاعل وظيفتها السماح بتزويد النفايات للمفاعل.



الشكل (2) المفاعل البيوحراري المستخدم في الدراسة.

و يمتاز هذا المفاعل ببساطة تقنياته بحيث يحقق الغاية المرجوة منه فهو يحتوي على شبكة معدني قطره يساوي القطر الداخلي للمفاعل ويرتفع بمقدار (14cm) عن قاعدته و تتراوح أقطار فتحاته (2-3)cm، وعلى كامل المساحة الجانبية السفلى للمفاعل تم صنع ثقوب بقطر (1cm) أسفل الشبكة على صفين لتأمين التهوية اللازمة وفي أسفل القاعدة يوجد سكر، كما تم فتح بوابة أبعادها (17×45) cm بالقسم السفلي من المفاعل تسمح بإزالة نواتج التخمر (السماد) من فوق الشبكة المعدني بين فترة وأخرى كما هو موضح بالشكل (4). كما تم عزل المفاعل البيوحراري من الأسفل وعلى الجوانب بالصوف الزجاجي بسماكة 10 cm وتم لف الصوف الزجاجي بطبقة من النايلون لحمايته من الأمطار في فصل الشتاء وللحد من الضياع الحرارية.

يمتاز هذا المفاعل ببساطة تقنياته بحيث يحقق الغاية المرجوة منه وهو عبارة عن برميل قطره (60cm) وارتفاعه (90cm) فيكون حجمه حوالي ( $0.25 \text{ m}^3$ )، ومجهز بالتجهيزات التالية:



الشكل (6) الخزان من الداخل أثناء التصميم



الشكل (7) تصريف المياه الراشحة



الشكل (8) خزان الماء الساخن في وضع التشغيل

### 3.2. وشيعة نقل الحرارة من المفاعل إلى الخزان:

وهي عبارة عن أنبوب نحاسي قطره (1cm) يتوضع ضمن المفاعل البيوحراري على شكل وشيعة بقطر (40cm) وبارتفاع (45cm) بحيث يرتفع أسفل لفة عن الشبك حوالي (25cm) ويبلغ عدد لفات الوشيعة 5 لفات، ويخرج طرفي هذه الوشيعة من المفاعل ليدخلان في خزان الماء ويتوضعان فيه أيضاً على شكل وشيعة بقطر (25cm)

الشكل (3) المفاعل من الداخل أثناء التصميم



الشكل (4) وضع النفايات ضمن المفاعل



الشكل (5) المفاعل البيوحراري في وضع التشغيل

### 2.2. خزان الماء الساخن:

تم تصنيع خزان الماء الساخن من النحاس الأحمر على شكل اسطواني قطره (30cm) وارتفاعه (90cm) فيكون حجمه (64L)، ومجهز بفتحة في الأسفل لتزويده بالماء البارد وفتحة من الأعلى لسحب الماء الساخن منه والثانية في المنتصف لوصل أنبوب ماء بين خزان الماء الساخن والمفاعل، وأخرى للتهوية في أعلى الخزان من طرف الراكورات، كما تم فتح ثلاث ثقوب ولحام ثلاث راكورات من الجانب الآخر لإدخال حساسات لقياس درجات حرارة الماء الساخن وهي موضوعة في منتصف الخزان وفي الثلث الأعلى والثلث الأسفل من الخزان، كما تم عزله أيضاً بطبقة من الصوف الزجاجي ثم طبقة من النايلون، وتوضح الأشكال (6)، (7)، (8) خزان المياه في مراحل مختلفة.





الشكل (10) مضخة التدوير المستخدمة في التجارب.

## 6.2. نظام قياس درجات الحرارة

تم تصنيع نظام قياس درجات الحرارة لنقاط مختلفة عن طريق معالج بشاشة إظهار رقمية، علماً أن مجال القياس التي تعمل ضمنه الحساسات هو ( $20^{\circ}\text{C}$  حتى  $150^{\circ}\text{C}$ ) بدقة ( $0.5 \pm ^{\circ}\text{C}$ ) وعدد النقاط عشرة وهو موافق لعدد الحساسات المستخدمة قابلة للتوسع حسب المطلوب ويتضمن:

1- حساسات لقياس درجة الحرارة مصنوعة من السيلكون.  
2- وحدات تحويل عدد 2 تقوم كل واحدة بتحويل الإشارة (القادمة من خمسة حساسات) إلى الشكل الرقمي المناسب للتعامل مع المعالج، ويتم تغذيتها بجهد متناوب (220 فولت).

3- وحدة الربط مع الحاسب: يمكن استخدام حاسب لأخذ القراءات وذلك بربط الوحدات السابقة مع الحاسب عن طريق المنفذ التسلسلي وفق نظام الربط (Rs232) ويتم تغذيتها بجهد متناوب (220 فولت) أيضاً.

4- لوحة إظهار رقمية لقيم درجات الحرارة في النقاط العشرة السابقة الذكر، كما هو موضح في الشكل (11).



الشكل (11) نظام قياس درجات الحرارة المستخدم في التجارب.

وارتفاع (45cm) وتحتوي على 5 لفات، وتعزل بالصوف الزجاجي خارج المفاعل والخزان.

## 4.2. خزان الماء البارد:

تم تصنيع خزان الماء البارد محلياً وهو عبارة عن برميل من التوتياء سعته (220L) ومزود بوصلات لوصله مع خزان الماء الساخن من الأسفل لتزويده بالماء البارد ولتعويضه عن ماء الاستخدام الساخن وموصول معه بواسطة أنابيب توصيل.

## 5.2. المضخة والوصلات:

مضخة صغيرة ذات مواصفات موضحة على اللوحة الاسمية ، فيها التدفق الأعظمي (12 L/min) وارتفاع الضخ الأعظمي (12m) وتدور (2850 r. p. m) كما هو موضح بالشكل (6).



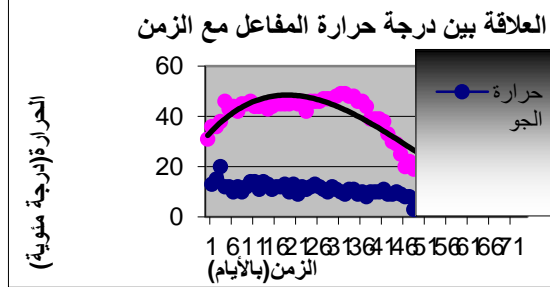
الشكل (9) المواصفات الاسمية لمضخة التدوير المستخدمة في التجربة.

وهي موصولة بصمام كهربائي ووصلات الهدف منها تدوير الماء، وتعتمد في عملها على شرط تحكم بين درجة حرارة الماء المار في وشيعة المفاعل البيوحراري ودرجة حرارة خزان الماء الساخن حيث يتم تشغيلها عندما تكون درجة حرارة الماء في وشيعة المفاعل أكبر بمقدار ثلاث درجات عن أعلى درجة للماء الساخن في خزان الماء الساخن، ويوضح الشكل (10) المضخة وتجهيزاتها في وضع التشغيل.

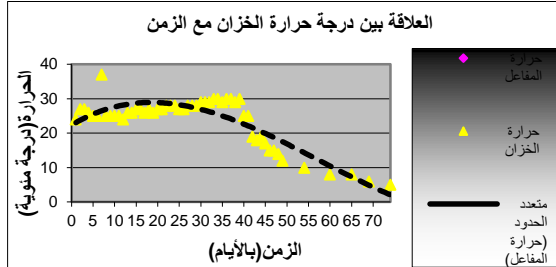
تقلاً

دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية.....

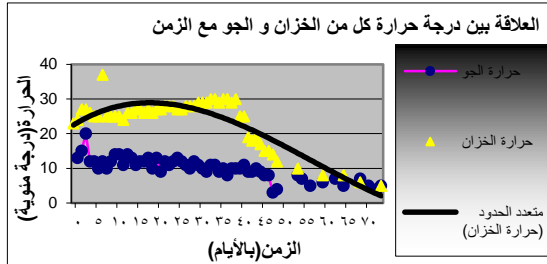
وخلال تلك الفترة قمنا بقياس درجات الحرارة يومياً وذلك لمرة واحدة في اليوم لكل من الجو والمفاعل والبرميل في نفس التوقيت ثم قمنا برسم المنحنيات التالية:



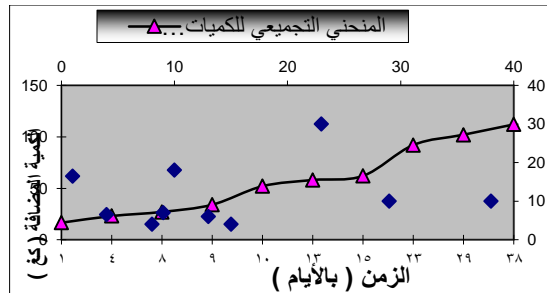
الشكل (12) مخطط يوضح العلاقة بين درجة حرارة المفاعل مع الزمن.



الشكل (13) مخطط يوضح العلاقة بين درجة حرارة الخزان مع الزمن



الشكل (14) مخطط يوضح العلاقة بين درجة حرارة كل من الخزان و الجو مع الزمن



الشكل (15) مخطط يوضح كميات النفايات العضوية خلال زمن التجربة

### 3. الدراسة الحرارية لمنظومة العمل وحساب

#### كمية الحرارة النظرية (Q):

تحتسب كمية الحرارة النظرية الناتجة عن المفاعل البيوجحاري من العلاقة التالية: (Di Maria, F.; Sisani, F.; Contini, 2018)

$$Q_2 = \frac{m_1 \cdot H_0 \cdot 1000}{n \cdot 3600}$$

$m_1$  - كتلة النفايات المضافة (kg)

$n$  - عدد أيام التجربة.

ويتم حساب القيمة الحرارية العليا الناتجة عن النفايات العضوية من العلاقة التالية: (Nanda S, Berruti F, 2021)

$$H_0 = 523 \cdot (G_v)^{0.77}$$

$H_0$  - القيمة الحرارية العليا (kJ/kg)

$G_v$  - نسبة الرماد المتبقي % وتمثل كمية النفايات غير المتحللة إلى كمية النفايات المختمرة.

#### 4. التجارب العملية والنتائج:

كانت مدة التجربة العملية على المنظومة لفترة حوالي شهرين ونصف، تم في بداية المرحلة تلقيح المفاعل بحوالي (20kg) ثم تمت الزيادة اليومية لهذه الكمية. علماً أن الكمية الكلية الموضوعه ضمن المفاعل خلال فترة الدراسة قد بلغت (112Kg)، و كان الوزن المتبقي في نهاية تلك الفترة حوالي (10Kg)، وكان حجم المياه الراشحة الكلي حوالي (7L).

#### 1.4 تشغيل المفاعل وإعداد المنحنيات البيانية

##### اللازمة:

تم إجراء التجارب في المخبر على عينات مأخوذة من ضمن المفاعل بعد التوقف عن إضافة كميات جديدة، فكانت النتائج كما يلي:

الرطوبة تساوي (45%)، الرماد المتبقي (نسبة المادة العضوية) تساوي (29.2%).

تقلاً

## دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية.....

التدريجي لعدد البكتيريا حيث أصبح عدد البكتيريا التي تموت أكبر من عدد البكتيريا التي تنشأ ضمن النفايات المتخمرة وهكذا حتى التوقف عن أخذ القراءات نلاحظ التناقص التدريجي لحرارة المفاعل.

وفي الأجزاء الثلاثة السابقة تلاحظ عدم تأثر حرارة المفاعل بحرارة الجو حيث لم يرافق ارتفاع درجة حرارة المفاعل بالضرورة ارتفاع درجة حرارة الجو حيث نلاحظ من المنحنيات أن درجة حرارة الجو كانت تتغير بشكل محدود جداً زيادة أو نقصاناً خلافاً لما هو عليه بالنسبة لدرجة حرارة المفاعل.

- كما نلاحظ من المنحنيات السابقة أن حرارة الخزان لم تتبع في تغيراتها أيضاً درجة حرارة الجو وإنما وبشكل ملحوظ كانت تابعة لتغيرات درجة حرارة المفاعل حيث تزايدت بشكل تدريجي في الأسبوع الأول واستمرت في الزيادة ولكن بمعدل أقل من معدل تزايد درجة حرارة المفاعل ويعزى ذلك للضياعات الحرارية الحاصلة ضمن أنابيب النقل وكذلك من سطح كل من المفاعل والخزان، بعد ذلك تناقصت تلك الحرارة في بداية الأسبوع الخامس وذلك في نفس الوقت الذي بدأت فيه حرارة المفاعل بالنقصان.

- وبدراسة تحولات كل من التابعين اللذين يدلان على العلاقة بين كل من حرارة المفاعل والخزان مع الزمن خلال فترة الذروة والموضحين على المنحني نجد:

$$Y_1 = -0.0017 X^3 + 0.0848 X^2 - 1.0276 X + 46.94$$

$$\Rightarrow Y_1' = -0.0051 X^2 + 0.1696 X - 1.0276$$

$$Y_1' = 0 \Rightarrow X = 8 \Rightarrow Y = 43.3$$

$$\Rightarrow X = 25.3 \Rightarrow Y = 47.7$$

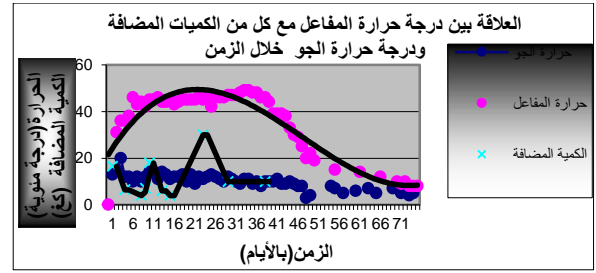
$$Y_2 = -0.0016 X^3 + 0.085 X^2 - 1.1505 X + 29.88$$

$$\Rightarrow Y_2' = -0.0048 X^2 + 0.17 X - 1.1505$$

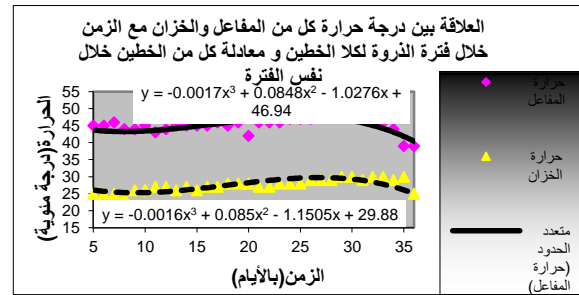
$$Y_2' = 0 \Rightarrow X = 9.1 \Rightarrow Y = 25.24$$

$$\Rightarrow X = 26.3 \Rightarrow Y = 29.31$$

أي أن للتابع الأول نهايتين محليتين: الأولى صغرى (8,43.3)، والثانية عظمى (25.3,47.7).



الشكل (16) مخطط يوضح العلاقة بين درجة حرارة المفاعل مع كل من الكميات المضافة ودرجة حرارة الجو خلال الزمن



الشكل (17) مخطط يوضح العلاقة بين درجة حرارة كل من المفاعل والخزان مع الزمن خلال فترة الذروة

- نلاحظ أن المنحني الذي يعبر عن تغيرات درجة حرارة المفاعل مع الزمن هو عبارة عن ثلاثة أجزاء:

- الجزء الأول يبدأ من بداية وضع النفايات ضمن المفاعل وحتى نهاية الأسبوع الأول حيث نلاحظ ارتفاع درجة حرارته بشكل تدريجي وهذه الحرارة ناتجة عن التطور التدريجي للتخمير بواسطة البكتيريا التي بدأ عددها بالزيادة في تلك الفترة.

- الجزء الثاني يبدأ من نهاية الأسبوع الأول وحتى التوقف عن وضع كميات النفايات حيث نلاحظ فيه ارتفاع ملحوظ لدرجات حرارة المفاعل حتى تصل لأعلى قيمة لها وذلك نتيجة لتكاثر البكتيريا بشكل كبير في وسط يحوي مواد مغذية كافية لها حيث ازدادت الكمية الموضوعة ضمن المفاعل بشكل تدريجي.

- الجزء الثالث يبدأ بعد التوقف عن وضع كميات النفايات أي في بداية الأسبوع الخامس ومع التناقص



نقلاً

دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية.....

تحتسب القيمة الحرارية العليا الناتجة من العلاقة التالية:

(Nanda S, Berruti F, 2021)

$$H_0 = 523 * G_v^{0.77} \text{ [ KJ / Kg]}$$

حيث  $G_v$  - نسبة الرماد المتطاير %.

$$H_0 = 523 * (0.292)^{0.77} \Rightarrow H_0 = 202.7 \text{ KJ / Kg}$$

- تحتسب القيمة الحرارية الدني الناتجة من العلاقة

التالية (Nanda S, Berruti F, 2021):

$$H_u = H_0 * (100 - (I + W)) / (100 - W_L) - 245 * W$$

حيث:  $I$  - كمية المواد غير القابلة للاحتراق %.

$W$  - الرطوبة %.

$W_L$  - الرطوبة المتبلورة (و يتم تجاهلها عادة).

$$H_u = 202.7 * (100 - (0.708 + 0.45)) / (100 - 0) - 245 * W \Rightarrow$$

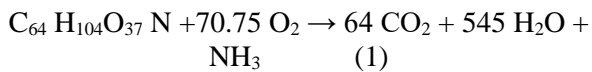
$$H_u = 90.1 \text{ KJ / Kg}$$

### 3.4. حساب كمية الهواء اللازمة للتفاعلات

#### الهوائية ضمن المفاعل:

يمكن التعبير عن التفاعلات التي تتم ضمن المظمر بالتفاعل العام التالي حيث يتشكل غاز النشادر في المرحلة الأولى والذي بدوره يتحول في ذات الشروط الهوائية إلى

حمض الآزوت (محمد عابر، 2002):



نحسب كمية الهواء اللازمة لتفكيك 1 g مادة عضوية وفق

العلاقة التالية (محمد عابر، 2002):

= كمية الهواء

$$\frac{2 * 0.708 * 0.543}{1.2 * 0.219} = 2.93 \text{ L / g}$$

على اعتبار أن:

- كل 1 g من المادة العضوية تحتاج إلى 2 g

أكسجين.

- الوزن النوعي للهواء 1.2 g / 1.

- نسبة الأكسجين في الهواء 21.9 %.

- درجة تفكك المادة العضوية 54.3 %.

وللتابع الثاني أيضاً نهايتين محليتين: الأولى صغرى

(9.1,25.2)، والثانية عظمى (26.3,29.3).

وبالتالي نلاحظ من قيم هذه النهايات أن الفرق - زمنياً -

بين بلوغ التابع الثاني نهايته الصغرى والعظمى وبين بلوغ

التابع الأول نهايته المقابلتين هو يوم واحد في الحالتين،

وهذا ما يؤكد صحة النتائج السابقة بأن حرارة الخزان تتأثر

بشكل رئيسي بحرارة المفاعل وتتبعها، ويدل الفارق الزمني -

الذي مقداره يوم واحد- على المدة اللازمة كي ترتفع درجة

حرارة الماء ضمن الخزان بعد انتقالها من المفاعل ضمن

أنابيب التوصيل.

- وهكذا يمكن التوصل إلى نتيجة أنه بالمتابعة في

إضافة كميات النفايات فإن ذلك سيؤدي إلى رفع درجة حرارة

المفاعل الذي يحوي تلك النفايات القابلة للتخمير بفعل

البكتيريا التي تنشأ ضمنها والتي يرتبط تواجدتها بوجود هذه

النفايات الأمر الذي سيؤدي إلى رفع درجة حرارة الماء

الموجود ضمن الخزان الموصول مع المفاعل بواسطة أنابيب

مملوءة بالماء كوسيط ناقل لتيارات الحمل الحراري.

- تظهر الخطوط البيانية على أن درجات الحرارة مستقرة

تقريباً في المفاعل البيولوجي وأيضاً ضمن المياه وذلك نتيجة

التلقيح المستمر للنفايات العضوية.

- بعد ثلاثة أشهر من المعالجة تم بشكل دوري

(أسبوعي) أخذ كمية من الأسمدة أسفل المفاعل وبنفس

الوقت تم تلقيح المفاعل بكمية من النفايات الطازجة.

- تظهر التجارب إمكانية التخلص من النفايات العضوية

المنزلية في المناطق السكنية غير القريبة من بعضها بشكل

جيد، بحيث تساعد هذه الطريقة على التخلص من النفايات

العضوية عن طريق تدويرها وتحويلها إلى أسمدة عضوية.

### 2.4. حساب القيمة الحرارية العليا $H_0$ و الدنيا

: $H_U$

- نسبة المادة العضوية (الرماد المتطاير) % 70.8.

#### 4.4. مراقبة الرائحة:

تمت مراقبة تأثير الرائحة الكريهة للغازات الناتجة عن التخمر الهوائي في المفاعل خلال فترة التجربة الثانية نتيجة لإمكانية وضع هذه المنظومة والاستفادة منها بشكل عام ولاسيما بين المنازل السكنية وعلى أيام متتالية وأبعاد مختلفة ولكامل فترة التجربة فكانت النتائج المبينة في الجدولين رقم (1) و(2) والموافقين تماما للتجربة الأولى.

**أولاً -** تمت مراقبة الرائحة على مسافة 2 m من مكان توضع المفاعل البيوحراري وباتجاه موافق لاتجاه الريح وخلال ساعات مختلفة من اليوم وطيلة فترة التجربة فكانت النتائج التالية الموضحة بالجدول رقم (1).

**ثانياً -** تمت مراقبة الرائحة الناتجة عن التخمر الهوائي في المفاعل البيوحراري وعلى مسافات مختلفة وباتجاه موافق لاتجاه الريح وعلى ساعات مختلفة من اليوم وطيلة فترة التجربة بعد الأسبوع الأول فكانت النتائج المبينة بالجدول رقم(2).

الجدول (1) تأثير الرائحة الناتجة عن التخمر الهوائي في المفاعل البيوحراري خلال فترة التجربة وعلى أيام مختلفة الأولى.

اليوم الأول	اليوم الثاني	اليوم الثالث	بعد أسبوع	بعد أسبوعين	بعد شهر	بعد شهرين
لا توجد رائحة	لا توجد رائحة	رائحة خفيفة	رائحة واضحة	رائحة واضحة	رائحة واضحة	رائحة خفيفة

الجدول (2) تأثير الرائحة الناتجة عن التخمر الهوائي في المفاعل البيوحراري خلال فترة التجربة الثانية وعلى مسافات مختلفة.

15 m	10 m	8 m	6 m	3 m	2 m	1 m
لا توجد رائحة	لا توجد رائحة	لا توجد رائحة	خفيف رائحة	خفيف رائحة	رائحة واضحة	رائحة واضحة

#### 5.4. اختبار السماد العضوي:

تم اختبار جودة السماد حقلياً حيث تمت زراعة حوضين من نبات النعنع الذي يمتاز بقصر فترة نموه فوق التربة وإمكانية مشاهدة نتائج التجربة خلال مدة البحث، بحيث تم استخدام تربة بدون سماد في الأول بينما تم وضع السماد العضوي الناتج عن عملية التخمر الهوائي ضمن المفاعل البيوحراري في الحوض الثاني.

وتمت مراقبة نمو نبات النعنع ولمدة أشهر بعد انتهاء التجارب العملية وقد تم ملاحظة الفرق في سرعة نمو النبات في الحوض الثاني مما يدل على جودة السماد عملياً.

#### 5. مناقشة النتائج والتوصيات:

1- إن حجم النفايات اليومية المصدرة إلى المطمر تنخفض بنسبة تصل حتى 70% (نسبة النفايات العضوية في النفايات البلدية) وهذا ما يساهم في زيادة عمر المطمر الصحي. إضافة إلى تقادي التلوث الناتج عن النفايات العضوية نفسها فيما لو تم نقلها إلى المطمر الصحي، علماً أن ذلك التلوث لا يقتصر على تلوث الهواء فقط وإنما على تلوث التربة والمياه الجوفية. حيث يتم أيضاً تخفيض حجم الماء الراشح إلى التربة أسفل المطمر بنسبة تصل حتى (80 %) وذلك نتيجة جمع النفايات العضوية المنزلية بشكل منفصل الأمر الذي يخفض أيضاً من كمية الغازات المنطلقة.

2- رغم تميز فصل الشتاء بالبرد الشديد فقد تم الحصول على درجة حرارة عالية نسبياً للماء في خزان الماء الساخن فمثلاً وصلت درجة الحرارة كوسطي شهري في كانون الثاني إلى (37 °C) وهذا يساعد في توفير ماء ساخن مع الاستغناء عن المصادر التقليدية، مع التأكيد على ضرورة عزل المنظومة لتخفيف الضياعات الحرارية والاستفادة ما أمكن من الطاقة الحرارية الناتجة عن التخمر الهوائي للنفايات العضوية.

نقلا

دراسة تجريبية للاستفادة من طاقة الكتلة الحيوية.....

العضوية المنزلية والحصول على أسمدة عضوية قابلة للامتصاص من قبل جذور النبات. حيث أثبتت الدراسة أهميتها وجدواها فيما يلي:

- تخفيض كمية النفايات المنزلية الزاجب طمرها.
- تحويل النفايات العضوية والمقدرة بحوالي (70%) إلى أسمدة عضوية.
- تخفيف كمية النفايات التي يتم ترحيلها من المنازل.

- التخفيف من الآثار البيئية الضارة الناتجة عن طمر النفايات ضمن المطر الصحي وذلك عن طريق تقليل كمية المياه الراشحة والتخفيف من كمية الغازات المنطلقة.
- التقليل من الكلفة الاقتصادية للتخلص من النفايات المنزلية للتجمعات السكانية الصغيرة بشكل كبير وذلك عن طريق تخفيض كلفة النقل وتواتر عمليات النقل والجمع وزيادة استيعاب المطمر الصحي وتقليل كلفة معالجة المياه الراشحة والغازات المنطلقة.

- زيادة العمر التصميمي للمطمر الصحي.
- الاستفادة من الطاقة الناتجة عن التفاعلات البيولوجية في تسخين المياه من أجل استخدامها في المجالات المنزلية.

8- من المؤشرات الهامة التي يجب مراقبتها في الأبحاث اللاحقة لمعرفة جودة السماد العضوي هي النسبة C/N التي تساعد في تقرب عملية التخمير الجيد أو الأمثل للنفايات.

9- قد تكون الروائح الناتجة عن عملية التخمير ناتجة عن وجود مناطق تخمر لاهوائي بسبب سوء التهوية في وقت ما ومكان ما ضمن المفاعل البيوحراري، يجب ضبطها بشكل جيد تأمين التهوية اللازمة.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595)ل

3- بلغت أعلى درجة حرارة للتخمير في المفاعل البيوحراري في اليوم الثاني والثلاثون من التجربة ( $50^{\circ}\text{C}$ ) متأثرة بكمية النفايات العضوية الموضوعة في المفاعل خلال الأيام السابقة مقابل ( $9^{\circ}\text{C}$ ) لدرجة حرارة الوسط الخارجي، وهذا دليل واضح على عدم تأثر درجة حرارة المفاعل بدرجة حرارة الجو وإنما بتخمير النفايات العضوية، وقد لعب العزل الجيد للمفاعل والخزان والأنابيب الخارجية دوراً هاماً في ذلك، رغم بساطة التنفيذ حيث يمكن تحسين النتائج بالنسبة للاستفادة من الطاقة عن طريق زيادة عمليات العزل الحراري ضمن المفاعل وخزان المياه.

4- لم ترتفع درجة الحرارة في المفاعل البيوحراري إلى الدرجة النظرية المثالية وهي ( $70^{\circ}\text{C}$ ) وإنما وصلت إلى درجة قريبة منها وهي حوالي ( $50^{\circ}\text{C}$ ) وكذلك لم يتم الحصول على سماد متخمير بشكل تام لعدم كفاية الفترة الزمنية لعملية التخمير، وذلك لصغر حجم المفاعل ولوجود الوشيجة ضمنه، مما أدى إلى صعوبة كبيرة في عملية خلط وتحريك النفايات العضوية ضمنه لتأمين فراغات هوائية مناسبة وتأمين الظروف البيئية المثالية لحياة البكتيريا من أجل تنشيط عملية التخمير.

5- وبالتالي يمكن تحسين مردود المفاعل البيوحراري بزيادة حجمه بحيث تكون كمية النفايات مضاعفة وإمكانية تقليل النفايات والحصول على شروط هوائية أكثر ملائمة لعملية التخمير.

6- نوصي بضرورة إجراء اختبارات لاحقة على السماد العضوي قبل استخدامه المباشر لمقارنته مع الموصفات القياسية المعتمدة، وتحديد أنواع النباتات التي يصلح لاستخدامه في زراعتها وأنواع المحسنات اللازمة إن لزم، وهذا يلزمه بحث أكاديمي مستقل وموسع.

7- يتبين من النتائج التي تم الحصول عليها بأن منظومة العمل قد حققت الغاية التي صممت من أجلها وتمت الاستفادة من الطاقة الناتجة عن تخمير النفايات

## References:

1. Report on the Production and Management of Municipal Solid Waste. Edizione 2016; Rapporti 251/2016; ISPRA: Ispira, Italy, 2016.
2. Nanda S, Berruti F. Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. Environ Chem Lett. 2021.
3. Di Maria, F.; Sisani, F.; Contini, S. Are EU waste-to-energy technologies effective for exploiting the energy in bio-waste? Appl. Energ, 2018.
4. Zhou X, Yang J, Xu S, Wang J, Zhou Q, Li Y, et al. Rapid in-situ composting of household food waste. Process Saf Environ Prot, 2020.
5. Halkos, G.; Petrou, K.N. Analysing the Energy Efficiency of EU Member States: The Potential of Energy Recovery from Waste in the Circular Economy. Energies, 2019.
6. أصفري أحمد؛ المشعان مشعل، إدارة النفايات الصلبة في بعض الدول العربية، 2004.
7. محمد عابر، الطرق المناسبة للتخلص من النفايات المنزلية في البلدان الناهضة رسالة دكتوراه، 2002.