تأثير نسبة المزج ودرجة حرارة التشغيل على كفاءة الإزالة ومستوى إنتاج الغاز في مفاعلات المعالجة البيولوجية اللاهوائية الجافة (DRANCO) المستخدمة في معالجة النفايات المنزلية الصلبة

د. قصي كمال الدين الأحمدي* رؤى مظفر يونس**
* أستاذ مساعد، جامعة الموصل/كلية الهندسة-قسم هندسة البيئة
** مدرس مساعد، جامعة الموصل/كلية علوم البيئة وتقاناتها- قسم تقانات البيئة

الملخص

تم في هذا البحث إنشاء وتشغيل محطة اختباريه لغرض دراسة تأثير نسبة المزج ودرجة حرارة التشغيل على كفاءة الإزالة ومستوى إنتاج الغاز في مفاعلات المعالجة البيولوجية اللاهوائية الجافة المستخدمة لمعالجة النفايات المنزلية الصلبة. تألفت المحطات الاختبارية من أربعة منظومات تعمل بدرجات حرارية منتخبة هي 35°C، 45°C و 55°C، 65°C للمنظومات الأولى والثانية والثالثة والرابعة وعلى التوالي، حيث احتوت كل منظومة على أربعة مفاعلات استخدمت ثلاثة منها لمعالجة فضلات الطعام التقليدية المطبوخة وباستخدام نسب مزج 40%، 50% و 60% للمفاعلات الأول والثاني والثالث على التوالي، في حين استُخدِم المفاعل الرابع في معالجة فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات وبنسبة مزج صلبة 50%. أثبتت نتائج البحث زيادة كفاءة إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين (COD) مع ارتفاع درجات الحرارة، حيث تم الحصول على أعلى كفاءة إزالة عند درجة حرارة 65°C، كذلك ازدادت نسبة انخفاض حجم الفضلات مع ازدياد درجات الحرارة، إذ انخفض الحجم إلى أكثر من النصف عند نفس الدرجة الحرارية. كما لم يلاحظ وجود تأثير واضح لنسبة مزج الفضلات الصلبة على نسب إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين (COD).كذلك وأثبتت النتائج إمكانية الحصول على غاز حيوي عند توفر الظروف الملائمة للتشغيل حيث بلغ معدل إنتاج الغاز لكل وحدة من الفضلات (2.7 لتر/كيلوغرام، 2.44 لتر/كيلوغرام، 2.4 لتر/كيلوغرام) في المفاعلات البيولوجية اللاهوائية التي تعالج الفضلات المنزلية وبنسب مزج (60%، 50% و 40%) وعلى التوالي، في حين يبلغ معدل إنتاج الغاز الحيوي في المفاعلات البيولوجية التي تعالج فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات (1.26 لتر/كيلوغرام).

Effect of solid mixing ratio and temperature on the performance of dry anaerobic composting (Dranco) reactors treating domestic solid wastes

Dr. Kossay K. Al-Ahmady* **Roa'a Modhaffar Younis****
*Ass. Professor; University of Mosul, College of Engineering, Environmental Eng. Dept.
**Ass. Lecturer; University of Mosul, Environmental Science and Tech. College

Abstract

In this research, an experimental plant was operated in order to study the effect of solid mixing ratio and temperature on the performance of dry anaerobic composting (Dranco) reactors treating domestic solid wastes. The experimental plants consists of four reactors, which were operated under different temperatures of 35°C, 45°C, 55°C, and 65°C , for the first, second, third and fourth system respectively. Three of these reactors were used to treat food waste at different solid mixing ratios of 40%, 50% and 60% for the first, second and third reactor respectively, while the fourth one was used to treat processing vegetable, fruit and garden waste (VFG) with the solid mixing ratio of 50%. The result of research revealed that, both of the removal efficiency of COD and the volume reduction of waste increase with increasing the temperature. Higher removal and volume reduction were recorded at 65°C. In contrast, there was no significant effect of the solid mixing ratio on the removal efficiency and the volume reduction. The study also shows that the total volume of biogas produced per kg of solids were (2.4, 2.44, 2.7 and 1.26 L/Kg for the first, second, third and fourth reactor respectively.

Key words: **Solid waste, Dranco, Anaerobic treatment, Biogas, Temperature, Solid ratio**

أستلم: 1 - 3 – 2011 **قبل: 22 – 12 -2011**

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المقدمة

تعد مشكلة النفايات الصلبة واحدة من أكثر المشاكل البيئية وضوحا في المدن العراقية عموما ومدينة الموصل خصوصا، حيث أدى تراكم هذه النفايات، وعلى مدى سنوات طويلة، إلى تشويه الساحات والمناطق السكنية في هذه المدن والتي تحولت إلى ما يشبه المكبات الكبيرة للنفايات، إضافة إلى ظهور الروائح المزعجة والقوارض والحشرات.

تشتمل النفايات الصلبة بشكل رئيسي على فضلات الطعام فضلاً عن الورق والبلاستك والزجاج والمعادن وغيرها من الشوائب، كذلك تحتوي على بعض الفضلات السائلة مثل بقايا الطعام السائل والأدوية القديمة، والزيوت المستعملة وغيرها.

وفي مقابل تفاقم مشكلة النفايات الصلبة وتزايد تأثيرها في العراق فان طرق معالجتها لم تتطور بالشكل الوافي كما ولم يتم التطرق إلى السبل والتقنيات الحديثة في هذا المجال، حيث اقتصرت المعالجة في معظمها على الاستخدام غير النظامي لطريقة الطمر الصحيمن حيث إعداد طبقات الدفن الصحيحة وتهيئة الموقع بالشكل السليم بعد الانتهاء منه. ومن طرق معالجة الفضلات الصلبة الأخرى المستخدمة عالميا طريقة الحرق (Incineration) التي كانت شائعة الاستخدام في السابق إلا أن ما تحدثه من تلوث للهواء وما ينتج عنها من غازات ذات سميّة عالية قد حد بشكل كبير من استخدامها (المنشدي، 2001). وفضلا عن ذلك فإن هناك العديد من الطرق الثرموكيميائية التي تعد من التقنيات الحديثة والمتطورة لمعالجة الفضلات الصلبة مثل طريقة (Pyrolysis) التي يتم فيها معالجة الفضلات حراريا بدون وجود الأوكسجين أو طريقة (Gasification) التي تتم المعالجة فيها بوجود الأوكسجين كذلك طريقة تخمر الكتلة الحيوية السليلوزية بواسطة بكتريا الإيثانول لغرض إنتاج مادة الإيثانول (Nizami, 2009; Ten, 1991). وعلى الرغم من تطور هذه الطرق إلا أن تطبيقها يتطلب توفير إمكانيات كبيرة فضلا عن ضرورة وجود كادر متخصص.

تعد طريقة الهضم اللاهوائي من الطرق القديمة المعروفة عالميا لمعالجة فضلات المواشي حيث ينتج عن عملية الهضم غاز الميثان (Boehnke, 2003; Singh, 2010). ومع تطور تقنيات معالجة الفضلات المنزلية الصلبة توسع استخدام طريقة المعالجة اللاهوائية لتصبح احد الطرق الرئيسية المستخدمة لمعالجة هذه المخلفات.

بشكل عام تحتوي الفضلات المنزلية على نسبة مواد صلبة تساوي تقريبا (30%)، أما الباقي فهو رطوبة (Hickman, 1999; Keily, 1997). وبما أن أنظمة الهضم اللاهوائي التقليدية (Low solid) والمستخدمة في معالجة الفضلات المنزلية تعمل فقط عندما يتراوح تركيز المواد الصلبة فيها ما بين (4 – 10%)، مما يعني أن فضلات الطعام الحاوية على نسبة (30%) من المواد الصلبة أو أكثر، يجب أن تخفف بكميات كبيرة من الماء من أجل الحصول على النسبة اللازمة للتشغيل، مما يجعل هذه الطريقة تحتاج أولا إلى الماء الشحيح أصلا في البلدان الحارة فضلا عن الزيادة الكبيرة في حجم المفاعلات. ومن هذا المنظور ولمعالجة المشاكل الواردة أعلاه فقد اتجهت الجهود الحديثة لتطوير تقنيات معالجة من الممكن أن تستخدم مفاعلات تستطيع العمل بحمل عالي (High solid)، مما يعد قفزة حقيقية في استعمال هذه الطريقة، حيث بالإمكان معالجة الفضلات المنزلية الحاوية على نسبة عالية من المواد الصلبة لتهضم لاهوائيا بدون الحاجة إلى إضافة المياه بكميات كبيرة، وهذا ما يعرف بتقنية المعالجة اللاهوائية الجافة (Dry Anaerobic Composting) أو ما يعرف اختصارا بـ (DRANCO)(Keily, 1997; Nichols, 2004). تتكون محطة المعالجة اللاهوائية الجافة من مفاعل عمودي يعمل بنظام الجرعة وبدون أي عملية مزج للمواد بداخله، حيث يتم إعادة (10 – 15%) من المواد المهضومة إلى داخل المفاعل مرة أخرى بعد انتهاء عملية المعالجة، كما يحتوي المفاعل على أنبوب لنقل الغاز الناتج عن عملية التحلل اللاهوائي.

يعد استخدام المعالجة اللاهوائية الجافة خيارا مقبولا من حيث كونها عملية معالجة طبيعية للفضلات حيث تزيل الأحمال العضوية العالية الموجودة، كذلك تقلل من حجم هذه الفضلات مما يقلل بالتالي من المساحة السطحية الضرورية للطمر، كما ينتج عنها دبال أو مكيف للتربة ونواتجها خالية من الروائح فضلا عن ذلك فهي تقلل من انبعاث غازات ثنائي اوكسيد الكربون والميثان إلى الجو (Reith, 2003). من ناحية أخرى من الممكن اعتبار هذه الطريقة مصدرا للطاقة المتجددة من خلال إنتاج غاز الميثان المستخدم في توليد الكهرباء (Reith, 2003).

يهدف هذا البحث إلى دراسة امكانية استخدام مفاعلات المعالجة البيولوجية اللاهوائية الجافة لمعالجة النفايات المدنية الصلبة في مدينة الموصل، كذلك ودراسة تأثير كل من نسبة المزج ودرجة حرارة تشغيل المفاعلات في: كفاءة إزالة المواد العضوية، وكفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة، وتقليل حجم النفايات، والمحتوى الرطوبي لبقايا الفضلات المهضومة (الدبال)، وكفاءة إزالة بكتريا الكوليفورم إضافة إلى علاقة تركيز المواد الصلبة في المفاعل مع مستوى إنتاج الغاز الحيوي.

الدراسات السابقة

قام الباحثان (Oleszkiewicz, 1997) بدراسة تأثير درجة الحرارة على كفاءة إزالة المواد العضوية (COD) في المفاعلات البيولوجية اللاهوائية الجافة التي تعالج فضلات الطعام الممزوجة مع فضلات صناعية عضوية بتركيز (40%) حيث تم تعريض كل مفاعل إلى أربع درجات حرارية مختلفة هي (20، 30، 40، 50) درجة مئوية وعلى التوالي، ولاحظ الباحثان ازدياد نسبة إزالة المواد العضوية مع زيادة درجة الحرارة حيث تم تسجيل أعلى نسبة إزالة عند

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

درجة حرارة (50) درجة مئوية. كما وجد الباحثون (Baere, 2000; Baere, et. al, 2000) أن حجم الغاز الحيوي الناتج عن معالجة الفضلات المدنية الصلبة باستخدام تقنية المعالجة اللاهوائية الجافة يتراوح بحدود(5- 9.2 م^{3}غاز/ م^3 مفاعل. يوم)، في حين تبلغ المدة اللازمة لإتمام عملية التحلل بحدود (25 - 30) يوم.

كذلك قام الباحث (Verma, 2002) بمقارنة كميات الغاز الناتجة عن معالجة الفضلات المنزلية الصلبة باستخدام نظام الهضم اللاهوائي التقليدي ذو الحمل المنخفض ونظام المعالجة اللاهوائية الجافة المرتفعة الحمل، وقد أثبتت النتائج أن كمية الغاز الحيوي المتولدة في مفاعلات المعالجة اللاهوائية الجافة تتراوح بحدود (220 – 250 م^3 غاز/طن من الفضلات) وهي أعلى بحدود (1.6 – 2.2) مرة من مثيلاتها في مفاعلات الحمل المنخفض والتي تعمل بنفس الظروف التشغيلية. كما واستخدم الباحثون (Ryckeboer, 2002) تقنية المعالجة اللاهوائية الجافة لمعالجة الفضلات المنزلية الصلبة بواسطة تشغيل مفاعلات مختبرية على حمل عضوي مقداره 20 Kg COD/m^3.d ودرجة حرارة 52°C، حيث اثبت الباحثون بان هذه التقنية كفوءة في معالجة الفضلات المنزلية الصلبة، كذلك لوحظ ان بقايا المواد المهضومة الناتجة عن العملية تكون خالية من الميكروبات المرضية حيث تساهم ظروف المفاعل من حيث ارتفاع درجة الحرارة بالقضاء على هذه الميكروبات خلال عملية المعالجة.

كما وقام الباحثون (Dinamarca, 2003) بدراسة تأثير قيمة pH على عملية الهضم اللاهوائي الجاف وذلك باستخدام أربعة مفاعلات تعمل على ثلاث قيم لـ pH مسيطر عليها هي (6، 7، و 8) أما المفاعل الأخير فقد تم تشغيله بدون السيطرة على قيمةpH. وجد الباحثون أن أعلى نسبة تحلل للمواد الصلبة الكلية والمواد المتطايرة تم الحصول عليها في المفاعلين الذين يعملان عند قيم pH تتراوح ما بين (7 - 8) والتي كانت بحدود 75% و85% على التوالي. أما الأحماض الدهنية المتطايرة فكانت متقاربة في كافة المفاعلات. كما قام الباحث (Ahring, 2004) ومساعدوه بتشغيل مفاعلات مختبرية بيولوجية لاهوائية جافة لغرض معالجة النفايات المدنية الصلبة وبنسب مزج تتراوح ما بين (35 – 55%). حيث أظهرت النتائج أن أعلى نسبة لإزالة الـ (COD) كانت (86%) عند تركيز مواد صلبة (35%)، في حين بلغت أعلى نسبة لتحلل TSS حوالي (75%) ولـ VSS حوالي (80%).

المواد وطرق العمل

أشتمل العمل ألمختبري على إنشاء ستة عشر مفاعل بيولوجي لاهوائي جاف ذات طور واحد (batch reactor) محكمة الغلق موزعة على أربع محطات اختباريه. تم تشغيل كل محطة اختباريه على درجة حرارة معينة، وكما مبين في الجدول رقم (1)، حيث استخدمت ثلاثة من مفاعلات كل محطة اختباريه لغرض معالجة الفضلات المنزليةالصلبة ولكن بنسب مواد صلبة مختلفة، أما المفاعل الرابع فقد استخدم لمعالجة فضلات الحدائق وفضلات الفواكه والخضراوات (Vegetable, Fruit, Garden) والمسماة اختصاراً (VFG). يبين الجدول رقم (2) نسب مزج الفضلات الصلبة مع مياه التخفيف للمفاعلات الأربعة مع توضيح نوع الفضلات في كل مفاعل.

جدول (1): الظروف التشغيلية للمنظومات الأربعة من حيث درجة الحرارة والسيطرة على الرقم الهيدروجيني (pH) ونوع الفضلات

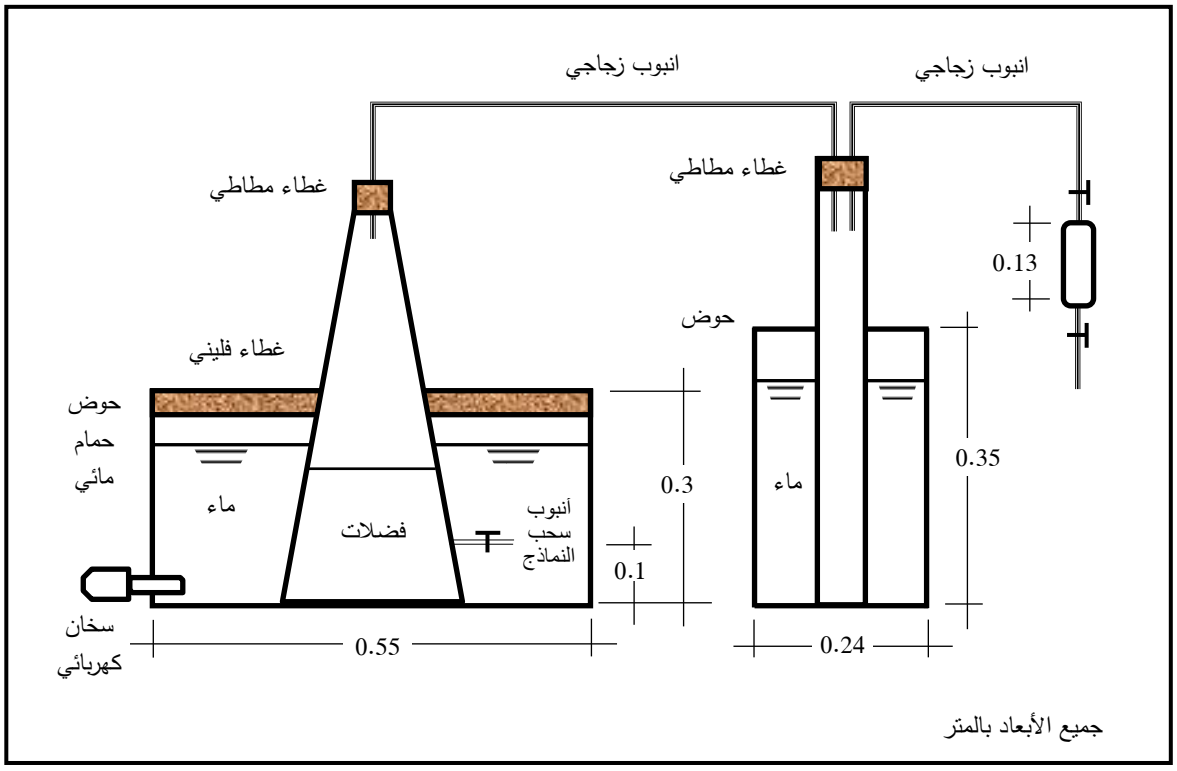
المحطة الاختبارية	ظروف التشغيل		نوع الفضلات بداخل المفاعلات			
	درجة الحرارة (°C)	pH	الأول	الثاني	الثالث	الرابع
الأولى	35	غير مسيطر عليها	طعام	طعام	طعام	VFG
الثانية	55	غير مسيطر عليها	طعام	طعام	طعام	VFG
الثالثة	45	7-8	طعام	طعام	طعام	VFG
الرابعة	65	7-8	طعام	طعام	طعام	VFG

جدول (2): نسب مزج الفضلات المنزلية الصلبة مع مياه التخفيف للمفاعلات الأربعة لأنواع الفضلات في كل مفاعل

رقم المفاعل	نسبة المزج %		نوع الفضلات
	فضلات صلبة	مياه تخفيف	
الأول	40	60	فضلات طعام
الثاني	50	50	فضلات طعام
الثالث	60	40	فضلات طعام
الرابع	50	50	فضلات حدائق وفواكه وخضراوات

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

أُعتمد النموذج المقترح من قبل الباحثين (Costi, 2004; Ryckeboer, 2002) كأساس لإنشاء المفاعلات البيولوجية الاختبارية، والتي أشتمل كل منها على دورق مخروطي زجاجي بسعة (5) لتر، تم تزويده بأنبوب زجاجي جانبي على ارتفاع (10) سم من القاعدة، يستخدم لسحب النماذج من المفاعل لغرض فحصها. أما الفتحة العليا للمفاعل فقد تم غلقها بشكل محكم باستخدام سداد مطاطي يحتوي على فتحة مرتبطة بأنبوب زجاجي تم إدخاله داخل اسطوانة مدرجة سعة (1) لتر مغمورة بحوض ماء سعة (15) لتر، حيث تم تحوير الاسطوانة لتكون مهيأة لتجميع الغاز بواسطة قطع قاعدتها السفلية بحيث تكون مفتوحة من الأسفل في حين تم إغلاق فتحتها العلوية بسداد مطاطي ذو فتحتين، تستخدم الفتحة الأولى لدخول الأنبوب القادم من المفاعل، أما الفتحة الثانية فيخرج منها أنبوب زجاجي مرتبط بقنينة زجاجية استخدمت لتفريغ الاسطوانة من الغاز حيث تحتوي هذه القنينة على صمامين من الأعلى والأسفل، يعمل الصمام العلوي عند فتحه على تخلخل الضغط في الاسطوانة مما يؤدي إلى تفريغها من الغاز، ومن ثم يتم غلقه وفتح الصمام السفلي لغرض تفريغ القنينة، يبين الشكل رقم (1) مخططا توضيحيا لإحدى مفاعلات المحطة الاختبارية.



الشكل رقم (1):إحدى مفاعلات المحطة الاختبارية المستخدمة في المعالجة

تمت تهيئة البذور (Seeds) اللازمة لعملية الهضم اللاهوائي من خلال وضع فضلات الطعام داخل (15)قنينة بلاستيكية مغلقة سعة كل منها (2.25) لتر، حضنت لمدة ثلاثة أشهر تحت ظروف لاهوائية بدرجة حرارة (30°C) مع مراقبة قيمة الدالة الحمضية (pH) للمحتويات حيث تم تعديل هذه القيمة لتصبح ضمن الحدود المتعادلة وذلك بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم (بعيارية 2N). تم إضافة هذه البذور بنسبة محددة لكل مفاعل (بحدود15% من وزن الفضلات الصلبة) وحسب التوصية المقترحة من قبل (Fernandez, 2001; Nichols, 2004; Nizami, 2010) حيث تكون هذه النسبة كافية لتوفير الأحياء المجهرية اللازمة لعملية الهضم.

جمعت نماذج الفضلات المنزلية الصلبة المستخدمة في البحث من منطقتي الرفاعي والمهندسين في مدينة الموصل حيث اختيرت ثلاثة منازل ذات مستوى معاشي متقارب لهذا الغرض، كما واعتمدت أوقات جمع الفضلات على المراحل التشغيلية للمحطة الاختبارية، حيث بدأت المرحلة الأولى عند عملية تهيئة البذور، في حين كانت المرحلة الثانية عند تشغيل مفاعلات المنظومتين الأولى والثانية، أما المرحلة الثالثة فكانت عند تشغيل مفاعلات المنظومتين الثالثة والرابعة.

تم قياس وزن الفضلات الكلية الناتجة عن كل منزل، ومن ثم تصنيف وعزل وتقطيع فضلات الطعام إلى قطع صغيرة بحجم (40) ملم تقريبا (Striewski, 2006; Wheeler, 2002) مع عزل الشوائب الأخرى غير القابلة للتحلل كالبلاستك والنايلون وغيرها من المواد حيث تعد هذه الإجراءات احد الخطوات التمهيدية اللازمة لمعالجة النفايات المنزلية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الصلبة (Wheeler, 2002). يبين الجدول رقم (3) تصنيف والنسب المئوية لمكونات النفايات المنزلية الصلبة المستخدمة في البحث.

جدول (3): حدود ومعدل النسب المئوية لمكونات الفضلات الصلبة

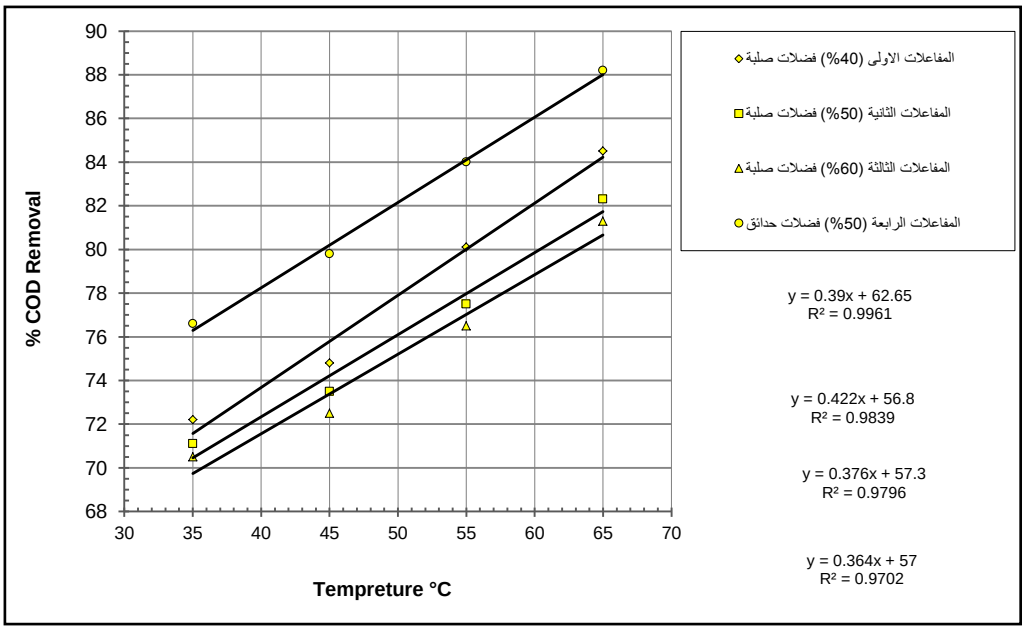
نوع الفضلات	حدود النسبة المئوية %	معدل النسبة المئوية %
بقايا الطعام	85-70	75
ورق وكرتون	5-4	7
بلاستك	10-2	5
نايلون	10 -3.5	5
معادن	0.6 - 0.1	0.5
زجاج	3-1	2
فضلات حدائق	5 -1	5
أخرى	0.9-0.3	0.5

تمت تعبئة كل مفاعل بيولوجي بحدود (4 كغم) من الفضلات الصلبة مع ماء التخفيف وبنسب مزج مختلفة وبحسب خطة البحث، كذلك ولغرض الحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة للتشغيل فقد وضعت المفاعلات البيولوجية اللاهوائية داخل أحواض حمامات مائية تحتوي على مسخنات كهربائية تعمل ضمن درجة الحرارة المطلوبة للتشغيل، كما تم تبطين هذه الأحواض بصوف زجاجي مع تغطية سطح كل منها بغطاء فليني محكم لغرض التقليل من التبخر. إضافة لذلك ولمعالجة حالة انقطاع التيار الكهربائي في بعض الأوقات فقد ربطت المسخنات الكهربائية للأحواض بعاكسة تيار مع بطارية من أجل ضمان اشتغالها عند أوقات انقطاع التيار. استخدمت طريقة إزاحة الماء لحساب حجم الغاز الحيوي الناتج عن التحلل اللاهوائي، حيث يؤدي انتقال الغاز إلى الاسطوانة المغمورة إلى إزاحة الماء وإحلال الغاز محله، ومن ثم خروج الماء المزاح من جوانب الحوض (Schafer, 2003).

النتائج والمناقشة

1. تأثير درجة الحرارة ونسبة المزج في كفاءة إزالة المواد العضوية:

يبين الشكل رقم (2) العلاقة بين درجة حرارة تشغيل المحطات الاختبارية والنسبة المئوية لكفاءة إزالة المواد العضوية (COD) للفضلات. وكما يلاحظ من الشكل فأن هناك ارتباطا قويا بين كفاءة إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين وازدياد درجة حرارة المعالجة، حيث تزداد كفاءة الإزالة مع ازدياد درجة الحرارة وضمن حدود درجات الحرارة المستخدمة في البحث. ويعود السبب في ذلك إلى ظاهرة زيادة فاعلية وسرعة تكاثر الأحياء المجهرية مع زيادة درجة الحرارة حيث يؤدي الانقسام النشط للأحياء المجهرية إلى استهلاك مواد عضوية اكبر لغرض استخدامها في بناء النسيج الخلوي الجديد مما يؤدي إلى زيادة كفاءة الإزالة. ويتفق هذا التفسير مع ما أورده الباحث (Kishore, 1998).



شكل (2): علاقة درجة الحرارة مع النسبة المئوية لإزالة المواد العضوية (COD) لجميع المفاعلات وللمنظومات الأربعة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

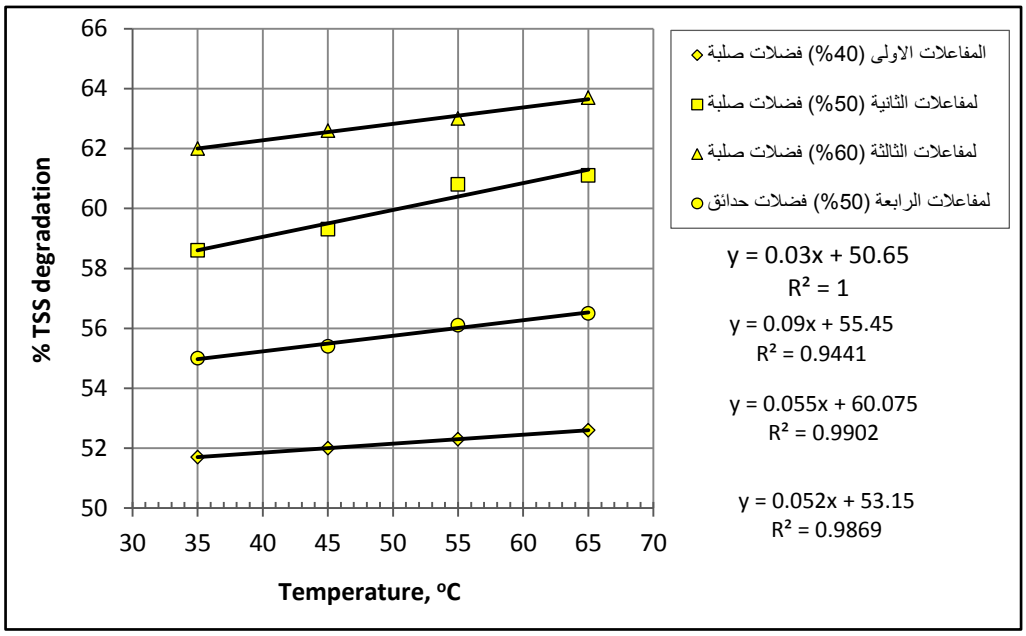
كذلك ويلاحظ من الشكل أن كفاءة الإزالة تقل بشكل بسيط مع ازدياد نسبة مزج الفضلات الصلبة في المفاعل البيولوجي وعند نفس الدرجة الحرارية، ويعود السبب في ذلك إلى انخفاض نسبة الرطوبة في المفاعلات العاملة على نسبة مزج أعلى مما يعيق نسبيا عملية المعالجة اللاهوائية ويدفعها أكثر باتجاه المعالجة الجافة وهذا ما يقلل من فعالية الأحياء المجهرية اللاهوائية. ويتفق هذا التفسير مع ما أورده الباحث (Baere, 2000)، حيث أشار إلى أن الكفاءة تقل بشكل بسيط مع زيادة نسبة مزج الفضلات الصلبة في المفاعل نتيجة الزيادة العالية لتركيز المواد الصلبة وانخفاض نسبة الرطوبة في المفاعلات.

كذلك يلاحظ من الشكل أن المفاعلات الحاوية على فضلات الحدائق كانت ذو نسبة إزالة للمتطلب الكيماوي للأوكسجين أعلى من بقية المفاعلات الأخرى الحاوية على فضلات الطعام التقليدية وعند مختلف درجات الحرارة. ويعود السبب في ذلك إلى عدم احتواء هذه الفضلات على نسبة عالية من الدهون الصعبة التحلل والمسببة لارتفاع المتطلب الكيماوي للأوكسجين والموجودة في فضلات الطعام التقليدية (Dinamarca, 2003).

2. تأثير درجة الحرارة ونسبة المزج على إزالة المواد الصلبة العالقة في النفايات الصلبة:

يبين الشكل رقم (3) العلاقة بين زيادة درجة حرارة المفاعل والنسبة المئوية لتحلل المواد الصلبة العالقة (TSS) وعند نسب مزج مختلفة. وكما يلاحظ من الشكل فإن نسبة تحلل المواد الصلبة العالقة تزداد بنسبة بسيطة مع زيادة درجة حرارة المعالجة، وضمن حدود درجات الحرارة المستخدمة في البحث، حيث كانت نسبة التحلل في المفاعل الحاوي على نسبة مزج فضلات صلبة تساوي 40% هي 51.7% عند درجة حرارة 35°C، وأصبحت 52% عند درجة حرارة 45°C، في حين كانت نسبة التحلل عند درجة حرارة 55°C هي 52.3% وازدادت لتصبح 52.6% عند درجة حرارة 65°C.

أما بالنسبة للمفاعل الذي يحتوي فضلات صلبة بتركيز 50% فقد كانت نسبة تحلل المواد الصلبة العالقة (TSS)هي 58.6% عند درجة حرارة 35°C، وارتفعت نسبة التحلل إلى 59.3% عندما ارتفاع درجة الحرارة إلى 45°C، في حين كانت هذه النسب عند درجات الحرارة 55°C و 65°C هي 60.8% و 61.1% على التوالي. وكذلك الحال مع المفاعل الثالث الذي يعمل تركيز مواد صلبة تبلغ 60% حيث كانت نسب تحلل المواد الصلبة العالقة عند درجات حرارة 35°C ، 45°C ، 55°C و65°C هي على التوالي 62 و62.6 و63 و63.7 %.



شكل (3): علاقة نسبة تحلل المواد الصلبة العالقة (TSS) مع درجة الحرارة لجميع المفاعلات وللمنظومات الأربعة

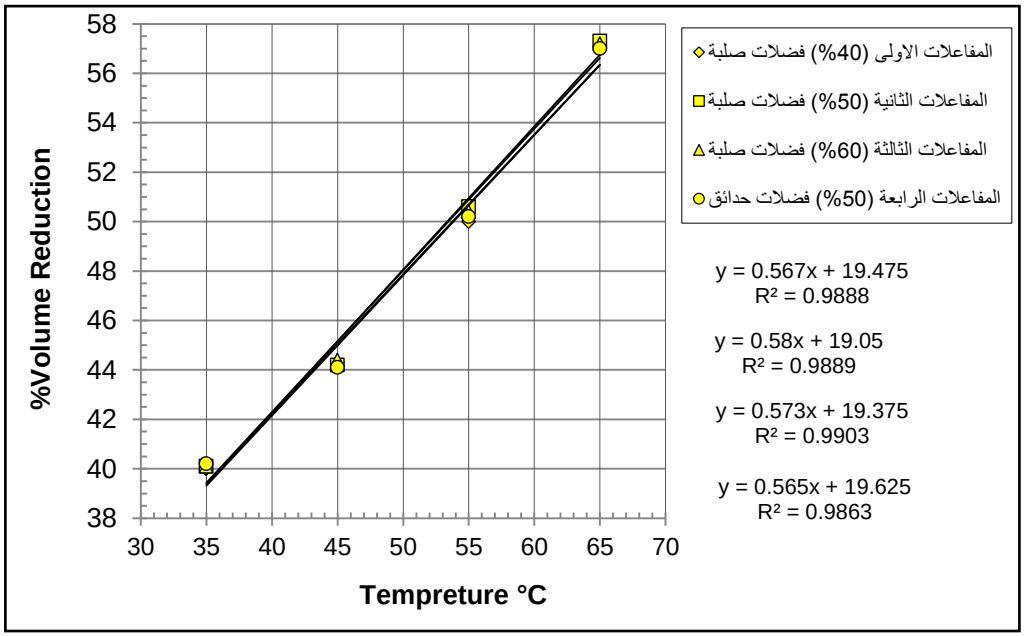
وكما يلاحظ من المنحني فان لدرجة الحرارة تأثير ضئيل جداً على نسبة تحلل المواد الصلبة العالقة ويعود السبب في ذلك إلى أن درجة الحرارة ليس لها تأثير مباشر على تحلل المواد الصلبة العالقة لأن زيادة درجة الحرارة تعمل فعليا على زيادة سرعة تكاثر الأحياء المجهرية ولكنها بالمقابل تعمل على زيادة سرعة انحلالها ولذلك يكون التأثير قليل. وتتوافق هذه النتيجة مع ما أشار إليه الباحث (Dinamarca, 2003) كذلك ويؤكد هذا الاستنتاج الميل الضعيف للمنحنيات والموضحة في الشكل.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وبالمقابل فان لزيادة نسبة مزج الفضلات تأثير على نسبة تحلل المواد الصلبة العالقة والمتطايرة حيث تزداد نسبة التحلل مع زيادة نسبة المزج. وتتفق هذه النتائج مع ما أورده العديد من الباحثين مثل (Rivard, et. al, 1993; Rivard, 1993; Six, 1992) من كون أن نسبة تحلل المواد الصلبة العالقة وتلك المتطايرة تزداد مع زيادة نسبة مزج الفضلات الصلبة في المفاعل.

3. تأثير درجة الحرارة ونسبة المزج على تقليل حجم النفايات الصلبة:

يبين الشكل (4) العلاقة بين درجة حرارة المفاعل وبين التخفيض الحاصل في حجم الفضلات بعد المعالجة. وكما يلاحظ من الشكل فإنه كلما ازدادت درجة حرارة المفاعلات كلما قل حجم الفضلات الناتجة وضمن حدود درجات الحرارة المستخدمة في البحث. ويعود سبب الانخفاض في حجم الفضلات الصلبة مع زيادة درجة الحرارة إلى ظاهرة تزايد النشاط البيولوجي ومن ثم زيادة سرعة تحلل الفضلات وتميؤها مع زيادة درجة الحرارة مما يخفض من حجم الفضلات الناتجة. ويتفق هذا التفسير مع ما أورده عدد من الباحثين مثل (Kiely, 1997; Kishore, 1998).



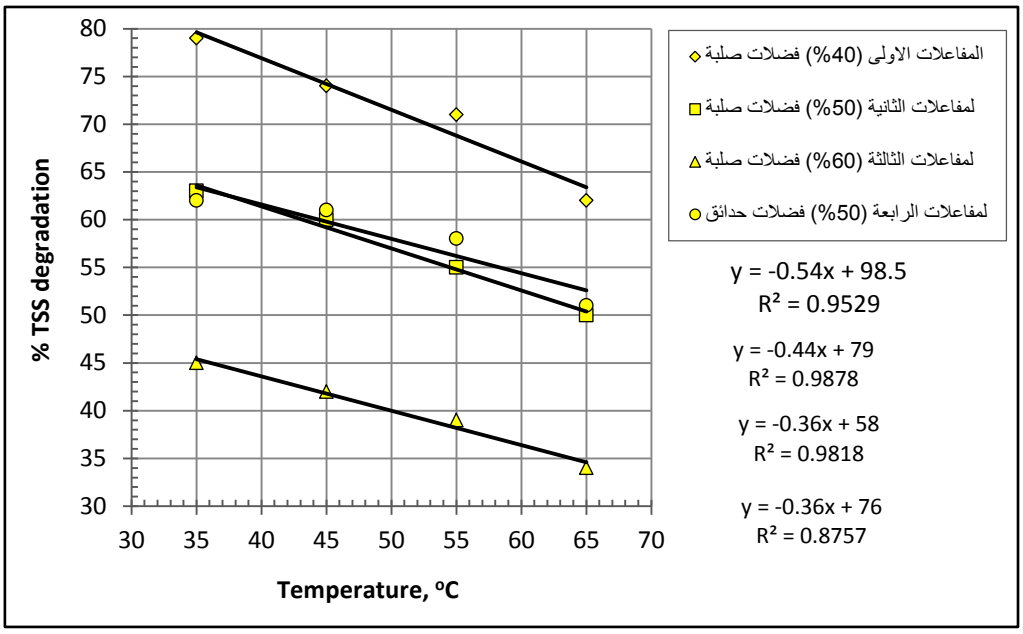
شكل (4): علاقة درجة الحرارة مع النسبة المئوية لانخفاض حجم الفضلات بعد المعالجة لجميع المفاعلات وللمنظومات الأربعة

4.تأثير درجة الحرارة ونسبة المزج على المحتوى الرطوبي لبقايا الفضلات المهضومة (المكيف):

بعد انتهاء عملية الهضم اللاهوائي تم تعريض المواد المهضومة المتبقية لعملية تجفيف هوائية استغرقت 5-6 أيام وذلك بوضعها معرضة بشكل مباشر للهواء الجوي. وتم بعد ذلك حساب المحتوى الرطوبي لها عن طريق حساب الفرق بين كتلة البقايا قبل وبعد التجفيف. والشكل (5) يبين العلاقة بين زيادة درجة الحرارة والمحتوى الرطوبي للدبال الناتج عن المفاعلات اللاهوائية الجافة المستخدمة في البحث.

كما يلاحظ من الشكل، فأنه كلما ازدادت نسبة مزج الفضلات الصلبة، قل المحتوى الرطوبي للسماد الناتج، وبالمقابل فإنه كلما ازدادت درجة حرارة المعالجة قل المحتوى الرطوبي للمكيف أيضا، لأنه كلما ارتفعت نسبة الفضلات الصلبة في المفاعل قل حجم الماء المضاف، مما يؤدي إلى انخفاض حجم الماء المتبقي بعد الهضم، كذلك فإن ارتفاع درجة حرارة المعالجة يؤدي إلى زيادة التبخر داخل المفاعل نفسه مما يسبب بنقصان حجم الماء في المفاعل أيضا. وتعد هذه النتائج قريبة من مواصفات السماد التي توصي بها العديد من البحوث، حيث يتراوح المحتوى الرطوبي للدبال المحسن للتربة ما بين 40-75% (Hickman, 1999; Raninger, 2006).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل (5): علاقة درجة الحرارة مع المحتوى الرطوبي لبقايا الفضلات المهضومة (الدبال) الناتج عن مفاعلات المنظومات الأربعة

5.تأثير زيادة درجة الحرارة على إزالة بكتريا الكوليفورم:

تم فحص بكتريا الكوليفورم في اليوم الأخير من عملية المعالجة اللاهوائية ولكل منظومة لغرض معرفة هل تحتوي النواتج النهائية للمواد المهضومة الناتجة عن المفاعلات البيولوجية اللاهوائية الجافة، والتي قد تستعمل كسماد للتربة على بكتريا الكوليفورم أم لا. أظهرت نتائج الدراسة عدم احتواء بقايا المواد المهضومة الناتجة عن عملية الهضم على بكتريا الكوليفورم باستثناء المفاعل الرابع من المنظومة الأولى والذي يحتوي على فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات (VFG) ويعمل عند درجة حرارة 35°C. حيث كان العدد الأكثر احتمالاً لبكتريا الكوليفورم للنماذج المفحوصة (1100). ويعزى سبب وجود هذه البكتريا في نواتج هذا المفاعل إلى وجود هذه البكتريا أصلاً في المياه المستخدمة لسقي المزروعات أو إلى احتمالية وجود فضلات الحيوانات في المناطق الزراعية (Spendlin, 1988)، كذلك فان الدرجة الحرارية التي يعمل عليها هذا المفاعل (35°C) ملائمة لنمو مثل هذا النوع من البكتريا كونها مقاربة لدرجة حرارة الإنسان مما أدى إلى استمرار بقائها في المفاعل.

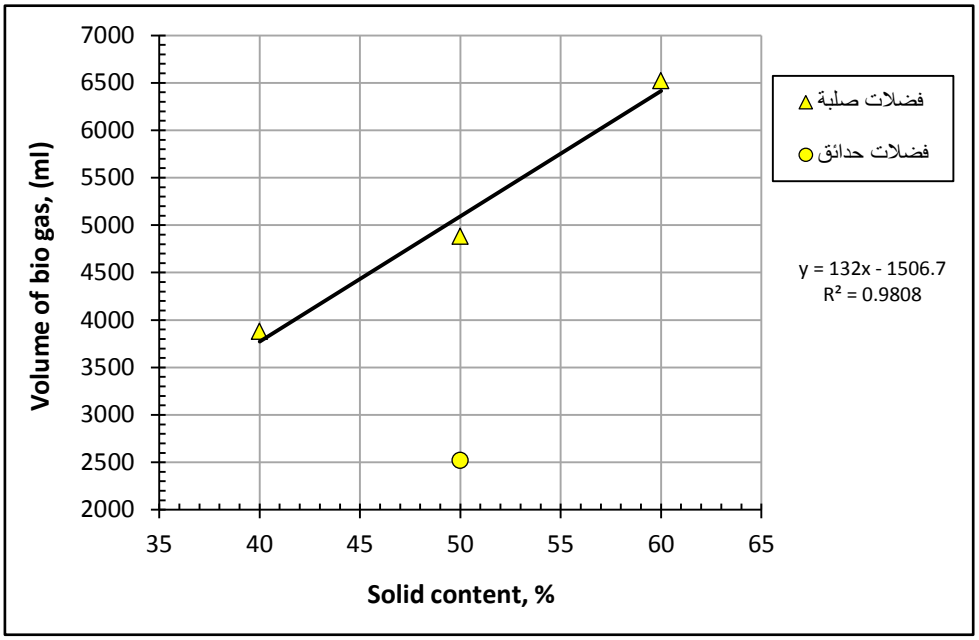
بالمقابل تقل فرصة نمو مثل هذه البكتريا مع زيادة درجة الحرارة حيث ساهمت زيادة درجة حرارة المفاعل بالقضاء على هذه البكتريا لذا لم تظهر هذه البكتريا في المفاعلات البيولوجية اللاهوائية التي تعمل عند درجة حرارة أعلى. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه الباحثون (Davis, 2004, Salminen, 2002) من كون أن بقايا المواد المهضومة الناتجة عن تشغيل المفاعلات البيولوجية عند درجة حرارة تساوي أو أعلى من 45°C تكون خالية من بكتريا الكوليفورم فضلا عن أنواع أخرى من الأحياء المجهرية والفيروسات وهذا ما يخدم المعالجة اللاهوائية.

6.علاقة إنتاج الغاز الحيوي (Biogas) مع تركيز الفضلات الصلبة في المفاعل:

الشكل رقم (6) يبين العلاقة بين إنتاج الغاز الحيوي والنسبة المئوية لمحتوى المواد الصلبة في المفاعلات البيولوجية في المفاعلات البيولوجية العاملة بدرجة حرارة (45°C). وكما يلاحظ من المنحني فأن كمية الغاز الحيوي تزداد مع زيادة تركيز الفضلات الصلبة، ويعود السبب في ذلك إلى ارتفاع تركيز المواد العضوية الموجودة في المزيج مع زيادة نسبة المزج وتركيز الفضلات الصلبة مما يؤدي إلى تعزيز عملية التحلل والهضم وزيادة قابلية بكتريا الميثان على توليد الغاز بصورة أكبر.

كذلك يلاحظ أن كمية الغاز الحيوي كانت قليلة في المفاعل الحاوي على فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات (VFG)، ويعود السبب في ذلك إلى أن هذه الفضلات تكون خفيفة ومنخفضة التركيز نسبياً وتحتوي على القليل من البروتينات مقارنة بفضلات الطعام التقليدية المطبوخة. وتتوافق هذه النتيجة مع ما حصل عليه الباحثون (Baere, 2000; Nizami, 2009) حيث أورد أن فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات تنتج كمية اقل من الغاز الحيوي وان وجود البروتينات في الفضلات يساعد على إنتاج الغاز بنسبة أكبر.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (6): علاقة إنتاج الغاز الحيوي مع تركيز المواد الصلبة في المفاعلات البيولوجية عند درجة حرارة ثابتة

وبحساب حجم الناتج فان معدل إنتاج الغاز للمفاعلات البيولوجية اللاهوائية التي تعالج الفضلات الصلبة المنزلية ولكل وحدة وزن من الفضلات الصلبة هو (2.7 لتر/كيلوغرام، 2.44 لتر/كيلوغرام، 2.4 لتر/كيلوغرام) في المفاعلات التي تعمل بنسب مزج (60%، 50% و 40%) وعلى التوالي، في حين يبلغ معدل إنتاج الغاز الحيوي في المفاعلات البيولوجية التي تعالج فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات (1.26لتر/كيلوغرام. يوم) وعند نسبة مزج (50%).

بالمقابل انعدم إنتاج الغاز الحيوي في المفاعلات البيولوجية التي تعمل بدرجة حرارة (65°C) أو في المفاعلات البيولوجية الأخرى التي تعمل بدون معادلة قيم الرقم الهيدروجيني (pH). وهذا ما يؤكد ضرورة السيطرة على قيم هذا الرقم في حالة الرغبة بإنتاج الغاز الحيوي، حيث يؤدي تراكم الأحماض العضوية وظهور بكتريا التحميض إلى خفض قيم الرقم الهيدروجيني إلى الحد الذي يعيق نمو وتواجد بكتريا الميثان، مما يقطع سلسلة التفاعل البيولوجي اللاهوائي عند مرحلة تكون الأحماض الدهنية. وتتفق هذه النتيجة مع تلك النتائج التي حصل عليها الباحثون (Dinamarca, 2003;Nizami, 2009) حيث أوردا عدم ظهور الغاز الحيوي في المفاعلات التي كانت تعمل بدون السيطرة على قيم الرقم الهيدروجيني (pH).

أما سبب عدم ظهور الغاز في المنظومة الرابعة التي تعمل عند درجة حرارة (65°C) فيعود إلى أن أفضل درجة حرارة تعيش فيها بكتريا الميثان تكون ما بين (25-45ºC) بالنسبة لدرجة الحرارة المتوسطة (Mesophilic)، وما بين (50-55°C) بالنسبة لتلك المحبة لدرجة الحرارة العالية (Thermophilic)، لذلك فإن زيادة درجة حرارة المعالجة إلى ما فوق 55°C يعيق عمل بكتريا الميثان ويجعلها خاملة لا تستطيع توليد الغاز الحيوي. ويتفق هذا التفسير مع ما أورده كل من الباحثان (Buekens, 2005; Nizami, 2009)، عند تعليلهم لسلوك بكتريا الميثان المولدة للغاز الحيوي تحت ظروف درجة الحرارة العالية في المفاعلات البيولوجية اللاهوائية.

الاستنتاجات

1. تزداد كفاءة إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين (COD) مع زيادة درجة حرارة تشغيل المفاعلات البيولوجية اللاهوائية وضمن مدى الدرجات الحرارية المستخدمة في البحث، حيث أمكن الحصول على أفضل كفاءة إزالة عند تشغيل المفاعلات البيولوجية اللاهوائية على درجة حرارة 65°C.
2. كانت كفاءة إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين للمفاعلات المستخدمة لمعالجة فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات (VFG) أعلى من إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين للمفاعلات المستخدمة لمعالجة فضلات الطعام وعند نفس درجة حرارة المعالجة.
3. لم يلاحظ وجود تأثير كبير لنسبة مزج الفضلات الصلبة على نسب إزالة المتطلب الكيماوي للأوكسجين حيث كانت معدلات الإزالة متقاربة نوعا ما وعند مختلف درجات الحرارة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4. يبلغ معدل إنتاج الغاز في المفاعلات البيولوجية اللاهوائية التي تعالج الفضلات الصلبة المنزلية (2.7 لتر/كيلوغرام، 2.44 لتر/كيلوغرام، 2.4 لتر/كيلوغرام) وبنسب مزج (60%، 50% و 40%)وعلى التوالي، في حين يبلغ معدل إنتاج الغاز الحيوي في المفاعلات البيولوجية التي تعالج فضلات الحدائق والفواكه والخضراوات (1.26 لتر/كيلوغرام. يوم).
5. يقل حجم الفضلات الناتجة عن عملية الهضم اللاهوائي للفضلات الصلبة مع زيادة درجة حرارة تشغيل المفاعلات البيولوجية اللاهوائية وضمن مدى الدرجات الحرارية المستخدمة في البحث، حيث تراوح معدل انخفاض حجم الفضلات بعد عملية الهضم ما بين (40-57%) واعتمادا على درجة حرارة التشغيل.
6. ساهمت ظروف ارتفاع درجة حرارة التشغيل في المفاعلات البيولوجية التي تعمل بدرجات حرارة (45°C، 55°C، 65°C) بالقضاء على بكتريا الكوليفورم في بقايا المواد المهضومة الناتجة عن عملية المعالجة حيث لم يسجل أي عدد للبكتريا في هذه المواد، في حين لوحظ وجود هذه البكتريا في المفاعلات البيولوجية التي تعمل عند درجة حرارة (35°C) حيث كان العدد الأكثر احتمالا هو (1100).

المصادر (References):

المنشدي، خلف (2001) "مشكلة النفايات السكانية الصلبة في العراق: الحلول الممكنة وتقنيات المعالجة المتوفرة"، جريدة المنارة، نيسان 2001.

Ahring, B.K., Hartmann, H. & Moller, H.B. (2004) " Efficiency of the treatment of the organic fraction of municipal solid waste: collection & pretreatment", *Waste Management & Research*, Vol.22, No.1, pp. 35-41.

Baere, L. De, (2000) "Anaerobic Digestion of Solid Waste: State of The Art", *Water Science & Technology*, Vol. 41, No. 3, pp. 283-290.

Baere, L. De.; Boelens, J. (2000) "Rest of mixed waste sorting- digestion- separation for the recovery of recyclables & energy", *Organic Waste Systems NV, DokNoord 4, 9000 Gent*.

Boehnke, J.; Eidam, M. and Pierson, J. (2003) "Biodigestion of animal carcasses", *Department of Chemical Engineering Report, Manhattan, Kansas State University*.

Buekens, A. (2005) "Energy recovery from residual waste by means of anaerobic digestion technology", *Conference of The Future of Residual Waste Management in Europe*, 22 April.

Costi, P., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., Sacile, R., (2004) "An Environmentally sustainable decision model for urban solid waste Treatment by Anaerobic Digestion", *Waste Management*, Vol. 24, No.2, pp. 277-295.

Davis, L.C. (2004) "Chapter 7: Anaerobic digestion", *National Agricultural Biosecurity Center, Kansas State University.*

Dinamarca, S.; Aroca, G.; Chamy, R. and Guerrero, L. (2003) "The influence of pH in the hydrolytic stage of Anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste", *Water Science and Technology*, Vol. 48, No. 6, pp. 249-254.

Fernandez, B., Porrier, P., Chamy, R., (2001) "Effect of inoculum-substrate ratio on the start-up of solid waste anaerobic digesters", *Water Science and Technology*, Vol. 44, No. 3, pp. 103-108.

Hickman, L.H., (1999) "Principles of Integrated Solid Waste Management", *American Academy of Environmental Engineers Publication*.

Kiely, G. (1997) "Environmental Engineering", *McGraw-Hill*, England.

Kishore, V.V.N.; Rajesharari, K.V. & Pant, D.C. (1998) "Studies on bio-methanation of vegetable market waste", *Biogas forum*, Vol. 74, No.3, pp. 4-12.

Nichols, C.E. (2004) "Overview of anaerobic digestion technology in Europe", *Journal of composting & Organic Recycling*. Vol.45, No.1, pp. 47-50.

Nizami, Abdul Sattar and Murphy, Jerry D., (2010), "What's types of digester configurations should be employed to produce bio methane from grass silage", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, pp. 1558-1568.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Nizami, Abdul Sattar; Korres, Nicholas E. and Murphy, Jerry D., (2009), "Review of the integrated process for the production of grass bio methane", *Environ Sci. Technol*., Vol. 43, pp. 8496-8508.

Oleszkiewicz, J. A. and Poggi- Varaldo (1997) "High solid anaerobic digestion of mixed municipal and industrial waste", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 123, No.4, pp. 1087-1092.

Raninger, B.; Rundong, Li and Lei, Feng (2006) "Activities to apply the Europen Experience on anaerobic digestion of bioorganic municipal waste from source separation in China", *Institute of Clean Energy & Environmental Engineering (ICEEE), Hangkong University, 110034 Shenyang, China.*

Reith, J. H., Wijffels, R. H. and Barten, H. (2003) "Bio- Methane & Bio- Hydrogen Production" *Published by Dutch Biological Hydrogen Foundation on Behalf of the Contributing Authors*.

Rivard, C.L, Nagle, N.J., Adney, W.S. and Himmel, M.E. (1993) "Anaerobic bioconversion of municipal solid waste", *Appl. Biochem. & Biotech*., Vol. 39, No.40, pp. 107-117.

Rivard, C.L. (1993) " Anaerobic bioconversion of municipal solid waste using a novel high-solid reactor design", *Appl. Biochem. & Biotech*., Vol. 39, No.40, pp. 71-82.

Ryckeboer, J.; Cops, S. and Coosemans, J. (2002) "The fate of plant pathogens & seeds during anaerobic digestion & aerobic composting of source separated household waste", *Compost Science & Utilization*, vol. 10, No.3, pp. 204-216.

Salminen, E.A., &Rintala, J.A. (2002) "Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading", *water Research*, Vol. 36, No.12, pp. 3175-3182.

Schafer, p. L., Farrell, J. B., Newman, G. and Vandenburg, S. (2003) "Advance anaerobic digestion processes", *Water Environment & Technology*, Vol. 15, No. 5, pp. 38-45.

Singh, Om V. and Steven, Harvey P., (2010), "Sustainable Biotechnology: Sources of Renewable Energy", Springer Science and Business Media, New York, pp. 116.

Six, W. and De Baere, L. (1992) "dry anaerobic conversion of municipal solid waste by mean of the DRANCO process", *Water Science & Technology*, Vol. 25, No.7, pp. 295-300.

Spendlin, H.H. and Stegmann, R. (1988) "Anaerobic fermentation of the vegetable, fruit & yard waste", *In Proc. 5th Int. Solid waste Conf., Held in Copenhagen, September 11-16, 1989(eds. L. Andersen & J. Moller)*, Vol. 2, No. 6, pp. 25-31, Academic press, London.

Striewski, S. and Pretz, T. (2006) " Treatment by extraction & anaerobic digestion of municipal solid waste", *Journal of Environmental, Agricultural &Foodchemistry*, Vol. 56 No.3, pp. 170-178.

Ten Brummeler, E., Horbach, H.C. and Koster, I.W. (1991) " dry anaerobic batch reactors digestion of the organic fraction of municipal solid waste", *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, Vol. 50, No.9, pp. 191-209.

Verma, S. (2002) " Anaerobic digestion of Biodegradable organic in municipal solid waste ", *M.Sc. Thesis, Colombia University, Department of earth & Environmental Engineering.*

Wheeler, P. A. and Rome L. De (2002) "Waste Pre- Treatment: A review", *R & D Technical Report No. PI- 344/TR, Published by: AEA Technology Environment, Environment Agency.*

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com