

## Effect of Syrian Zeolite Ore, Magnesium and phosphorus Salts on reduce Volatilized ammonia during Poultry manure Composting

Dr. Leila Habib\*  
Dr. Ghiath Alloush\*\*  
Dr. Nada Salman\*\*\*  
Dr. Areej Adra\*\*\*\*  
Suliman Younes\*\*\*\*\*

(Received 30 / 8 / 2023. Accepted 29 / 11 /2023 )

### □ ABSTRACT □

The objectives of this study was to evaluate the effect of zeolite, Magnesium and phosphorus mineral salts in reducing nitrogen loss during poultry manure composting. The research carried out in soil chemistry and soil fertility laboratories in agriculture Faculty at Tishreen University in 2021. The poultry manure composted in plastic containers in a temperature-controlled incubator. Volatilized ammonia, ammonium ions and total nitrogen contents measured over 120 days.

Three treatments in addition to control executed: **OM** (Control= poultry manure without any amendments). **OMZ** treatment received 15% zeolite by weight. **OMS** represents treatment of magnesium and phosphorus mineral salts, where magnesium was added as magnesium sulfate, while phosphorus was used as triple superphosphate fertilizer. The salt sources added at a molar ratio of 10% of mole number of initial nitrogen in poultry manure. Mixture treatment between zeolite and mineral salts (**OMZS**) applied at the same rate mentioned before.

Main achieved results: the proposed protocols contribute in reducing nitrogen loss during composting. Final total nitrogen content decreased about 30% of the initial nitrogen, where volatilized ammonia constitute about 68% of this loss, and represent 20% of the initial nitrogen value.

Zeolite application to composting medium (OMZ) reduced ammonia volatilization by 12.9% compared to control (OM). This loss reached 20.4% in salts treatment (OMS) whereas it was 25% in mixture treatment (OMZS). Application of zeolite, Mg and P salts increased total N in the final produced compost by 5% -12% and NH<sub>4</sub>-N content by 28.5%- 39% compared to control(OM) respectively

Scanning electron microscopy showed Struvite mineral formation in the produced compost in salts treatment (OMS), this contributed to save ammonia during composting.

**Key Word:** Zeolite, Magnesium and phosphorus Salts, Poultry manure, Ammonia volatilization, Struvite.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

\* Professor -Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. [leilahabib@tishreen.edu.sy](mailto:leilahabib@tishreen.edu.sy)

\*\* Professor -Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria [galloush@scs-net.org](mailto:galloush@scs-net.org)

\*\*\*Assistant Professor - Department of Geology- Faculty of Sciences, Tishreen University -Lattakia, Syria [Salman.nada@gmail.com](mailto:Salman.nada@gmail.com)

\*\*\*\* Assistant Professor - Department of Environmental Chemistry- Higher Institute for environmental research, Tishreen University, Lattakia, Syria. [Areej.adra@tishreen.edu.sy](mailto:Areej.adra@tishreen.edu.sy)

\*\*\*\*\* Postgraduate student (Ph.D), Department. of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. [Suliman.a.younes@tishreen.edu.sy](mailto:Suliman.a.younes@tishreen.edu.sy)

## أثر الزيولايت السوري الخام وأملاح المغنزيوم والفوسفور في تخفيض الأمونيا المفقودة خلال تخمير مخلفات المداجن

د. ليلى حبيب\*  
د. غياث علوش\*\*  
د. ندى سلمان\*\*\*  
د. أريج عدرة\*\*\*\*  
سليمان يونس\*\*\*\*\*

(تاريخ الإيداع 30 / 8 / 2023. قبل للنشر في 29 / 11 / 2023)

### □ ملخص □

يهدف البحث لتقييم أثر إضافة خام الزيولايت وأملاح المغنزيوم والفوسفور المعدنية في تقليل الفقد الآزوتي على شكل غاز الأمونيا خلال تخمير مخلفات المداجن. نُفذ البحث في مخبري كيمياء وخصوبة التربة في كلية الزراعة في جامعة تشرين في العام 2021. تم تخمير مخلفات المداجن ضمن حاضنة مُتحكم في درجة حرارتها، وذلك في مخمرات بلاستيكية محكمة الإغلاق. تم تتبع وقياس الأمونيا المنطلقة ومحتوى المعاملات من الآزوت الكلي والآزوت الأمونياكي خلال فترة التخمير والتي استمرت 120 يوم.

تضمنت الدراسة ثلاث معاملات بالإضافة للشاهد، وهي على الشكل الآتي: OM (مخلفات مداجن دون أي محسنات). معاملة OMZ مخلفات مداجن التي استقبلت الزيولايت بنسبة 15% وزنا. معاملة الأملاح المعدنية لكل من المغنزيوم والفوسفور، حيث أضيف المغنزيوم على شكل سلفات المغنزيوم، أما الفوسفور استخدم سماد سوبر فوسفات الثلاثي. أضيفت المصادر الملحية بنسبة مولية 10% من عدد مولات الآزوت الأولية في المخلفات وسميت OMS. معاملة الخليط بين الزيولايت والأملاح المعدنية التي أضيفت بنفس المعدل السابق وسميت OMZS. بينت النتائج أن الأساليب المقترحة ساهمت في التقليل من الفقد الآزوتي أثناء عملية تخمير مخلفات المداجن. دلت قيم الآزوت الكلي المقاسة في نهاية التخمير أنه فُقد حوالي 30% من الآزوت الأولي في معاملة الشاهد (OM)، شكلت الأمونيا المتطايرة حوالي 68% منها، وهي تشكل 20% من المحتوى الآزوتي الأولي.

خفضت إضافة الزيولايت (OMZ) لوسط التخمير الفقد على شكل غاز الأمونيا بمعدل 12.9% مقارنة مع الشاهد (OM). بالمقابل بلغ تخفيض الفقد 20.4% في معاملة الأملاح، في حين وصلت نسبة التخفيض حوالي 25% في معاملة الخليط بين الزيولايت والأملاح المعدنية (OMZS). أدت بالنتيجة إضافة كل من الزيولايت وأملاح المغنزيوم والفوسفور لزيادة نسبة الآزوت الكلي في الناتج النهائي للتخمير بمعدلات من 5% - 12% وزيادة المحتوى من الأمونيوم بمعدلات 28.5% - 39% دوماً بالمقارنة مع الشاهد (OM). أظهرت صور المجهر الإلكتروني ظهور طور متبلور للستروفيت خلال التخمير في معاملة الأملاح مما ساهم في حفظ الأمونيا خلال التخمير.

الكلمات المفتاحية: الزيولايت، أملاح المغنزيوم والفوسفور، مخلفات المداجن، تطاير الأمونيا، ستروفيت.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

\*أستاذ -قسم علوم التربة والمياه - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية [leilahabib@tishreen.edu.sy](mailto:leilahabib@tishreen.edu.sy)

\*\*أستاذ -قسم علوم التربة والمياه - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية [galloush@scs-net.org](mailto:galloush@scs-net.org)

\*\*\*مدرس -قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية [Salman.nada@gmail.com](mailto:Salman.nada@gmail.com)

\*\*\*\*مدرس -قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية [Areej.adra@tishreen.edu.sy](mailto:Areej.adra@tishreen.edu.sy)

\*\*\*\*\*طالب دراسات عليا لدرجة الدكتوراه -قسم علوم التربة والمياه - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

[Suliman.a.younes@tishreen.edu.sy](mailto:Suliman.a.younes@tishreen.edu.sy)

**مقدمة:**

يتعرض الآزوت في المخلفات العضوية، أثناء عملية التخمير، لمجموعة من التحولات والتفاعلات البيوكيميائية التي تبدأ بتحويل الآزوت من الشكل العضوي (البروتين) إلى المعدني على شكل شاردة الأمونيوم (ammonification) تتحول شاردة الأمونيوم إلى نترات عبر عملية النترجة (nitrification)، لتنتهي بعدها بإرجاع النترات إلى أشكال من غاز الآزوت ( $N_2$  و  $N_2O$ ) وذلك عبر عملية عكس التآزت (denitrification). كذلك قد يتحول جزء من الأمونيوم إلى غاز الأمونيا عن طريق التطاير (volatilization) عندما ترتفع درجة الـ pH في وسط التخمر لحدود القاعدية (Wong *et al.*, 2017). يتسبب كل ذلك في تقليل المحتوى الآزوتي النهائي للسماد العضوي وبالتالي تنخفض قيمته السمادية. تصل نسبة الفقد بالأشكال المختلفة لأكثر من 50% من كمية الآزوت الأولية في المخلفات العضوية، وبعد تطاير الأمونيا (volatilization) السبب الرئيسي للفقد الآزوتي والتي تشكل حوالي 90% من كمية الآزوت المفقود (Tiquia and tam, 2000; Bernal *et al.*, 2009).

وزع Wong وآخرون (2017) عمليات فقد الآزوت خلال التخمير في ثلاث عمليات: (1) فقد الآزوت على شكل أمونيا متطايرة تحت تأثير الـ pH والحرارة العاليتين وتسبب فقدان 49-77% من كمية الفقد الكلية للآزوت. (2) غسل الآزوت المعدني المنحل في الماء وهو يشكل نسبة 10-20% من الآزوت المفقود، يبلغ الشكل الأمونياكي ( $NH_4-N$ ) نسبة 77-98% منه. (3) عكس التآزت والتي تشكل 5% من الآزوت المفقود على شكل أحد مركبات أكسيد الآزوت ( $NO_x$ ). تؤكد النسب السابقة أن أغلب الآزوت المفقود خلال تخمير مخلفات الحيوانات كأحد أنواع المخلفات العضوية يكون على شكل أمونيا (Eghball *et al.*, 1997; Parkinson *et al.*, 2004)، وذلك لاحتوائها على محتوى آزوتي مرتفع (Mahimairaja *et al.*, 1994; kithome *et al.*, 1999). تختلف معدلات فقد الآزوت أثناء تخمير المخلفات الحيوانية باختلاف مصدر هذه المخلفات، وجد Bernal وآخرون (2009) أن الكمية المفقودة من الآزوت كانت 60% في مخلفات الخنازير، 58% للدواجن، و46% بالنسبة للأبقار وذلك نسبة لكمية الآزوت الأولية لهذه المخلفات. تُعد مخلفات الدواجن من الأسمدة العضوية العالية المحتوى الآزوتي، يوجد معظمه (60-70%) على شكل حمض اليوريك (Shuler *et al.*, 1979)، ويتحلل بسرعة إلى الأمونيا وغاز ثاني أكسيد الكربون بفعل أنزيم (uricase) عند شروط درجة الحرارة، درجة الـ pH والرطوبة المناسبة لنشاط الأحياء الدقيقة (Rouf and Lomprey, 1968). يفقد أغلب الآزوت على شكل أمونيا في مرحلة الـ thermophilic عند درجات الحرارة فوق 60 درجة مئوية، يزداد فقد الأمونيا عند زيادة درجة الـ pH للحدود القاعدية في هذه المرحلة الحرارية (wong *et al.*, 2017). لذلك فإن كلمة السر في تقليل فقد الآزوت أثناء التخمير هي التحكم بتراكيز الأمونيوم والأمونيا أو السيطرة عليها بطرق تبقيها ضمن منظومة التخمير.

اتبعت مجموعة من الأساليب المعتمدة على أسس كيميائية لتقليل الفقد الآزوتي خلال تخمير المخلفات العضوية كالإضافات الفيزيائية لوسط التخمير ويمكن تقسيم هذه الإضافات إلى فيزيائية عضوية كالمواد الغنية بالكربون فقد اعتمد Mahimairaja وآخرون (1994) المواد الغنية بالكربون العضوي والفقيرة بالآزوت والتي من الممكن أن تقلل من الأمونيا المفقودة خلال عملية تخمير المخلفات عن طريق تمثيل أيونات الأمونيوم إلى الشكل العضوي. كما استخدم الفحم الحيوي (Biochar) ذو السطوح النوعية المرتفعة والمسامية العالية والقدرة الإدمصاصية العالية للأمونيوم والأمونيا كوسيلة لخفض الفقد الآزوتي على شكل غاز أمونيا خلال التخمير مخلفات الدواجن بنسب تراوحت ما بين 43%-64% عند إضافته بمعدلات من 20% إلى 27% من الوزن الجاف للمخلفات (Steiner *et al.* 2010).

(Chowdhury *et al.*, 2014). لجأت بعض الدراسات إلى الإضافات الفيزيائية المعدنية على شكل فلزات عديدة ومنها الزيولايت الذي يمتلك سطوحاً لادمصاص الأمونيوم أو الأمونيا (Witter and Kirchmann, 1989a; Kithome *et al.*, 1999).

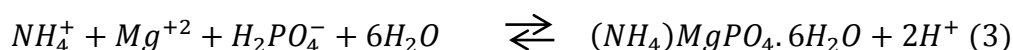
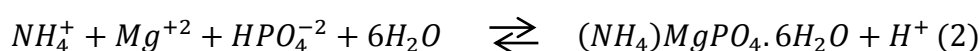
استُخدم خام الزيولايت (سيليكات الألمنيوم المائية) كمصيدة للأمونيا المتطايرة أثناء عملية تخمير مخلفات الطيور لتقليل الفقد بالآزوت، ووصلت الكمية المصطادة نتيجة ادمصاص الأمونيا على الزيولايت 60% (Bernal *et al.*, 1993) بينما حصل آخرون على قيمة 75-88% (Witter and Kirchmann 1989 a) من كمية الأمونيا المتحررة من مواد التخمير. وجد كل من Bernal وآخرون (1993) أن إضافة الزيولايت والقش المفروم لمخلفات الخنازير بمعدل 53 غرام/كغ حافظ على 80% من الآزوت، وخفض الزيولايت من فقد الآزوت على شكل أمونيا بنسبة 44% عند استخدام الزيولايت كسطح ادمصاص للأمونيا أثناء تخمير مخلفات الدواجن وذلك بإضافته على شكل طبقة فوق المخلفات بمعدل 38% وزناً مقارنة مع الشاهد الذي لم يتلق أي إضافة (Kithome *et al.*, 1999). وعند استخدام الزيولايت خلال تخمير مخلفات الطعام من قبل Chan وآخرون (2016) ساهم الزيولايت في حماية 10% من الآزوت.

تنتمي الزيولايتات لمجموعة السيليكات الهيكلية Tectosilicate، تمتلك هذه المجموعة تركيباً ثلاثي الأبعاد، حيث يتمركز الألمنيوم والسليكون في بنى من رباعيات الوجوه التي تصنعها ذرات الأكسجين بترتيب منتظم على شكل رباعيات وجوه من (SiO<sub>4</sub>) و (AlO<sub>4</sub>) لتصنع شكل الصندوق الشبكي ويتخللها وجود فجوات أو قنوات (Baerlocher *et al.*, 2007)، تؤدي عملية الإحلال الأيوني المتماثل بين السليكون والألمنيوم لإعطاء شحنة صافية سالبة، تتعدل هذه الشحنة عبر الكاتيونات وهذا يمنح الزيولايت خواص كالسعة التبادلية الكاتيونية العالية، تتراوح بين 2-4 ميلي مكافئ لكل غرام (Mumpton, 1999). يملك الزيولايت انتقائية كاتيونية موثقة في بعض الدراسات على شكل سلاسل انتقائية توضح الألفة لبعض الكاتيونات ومنها الأمونيوم على حساب أخرى (Collela, 1996; Sarioglu, 2005). تعد الإضافات الكيميائية للمخلفات خلال التخمير شائعة لتحسين جودة المنتج العضوي وتقليل الفقد الآزوتي عبر طرق مختلفة كإضافة مواد ذات تأثير حامضي لتعديل خواص المخلفات خلال التخمير كخفض درجة الـ pH. إن تطاير الأمونيا مرتبط بدرجات الحموضة، حيث يزداد عند درجات pH < 8 وينخفض عند درجات pH > 7 فدرجة الـ pH التي تحقق التوازن بين الأمونيوم وغاز الأمونيا هي المفتاح للسيطرة على الفقد الآزوتي (Krichman and Witter, 1989). استُخدمت أمماض الكبريت والفوسفور (Stevens, *et al.*, 1989; Al-Kanani *et al.*, 1992; Wang *et al.*, 2019)، وأملاح الكالسيوم والمغنزيوم (Witter and Kirchmann, 1989b).

أضافت دراسات سابقة عنصر الكبريت الحر لوسط التخمير لتحسين جودة المنتج العضوي عبر تشكيل مركبات حمضية تخفض من فقد الأمونيا (Garcia de la Fuente *et al.*, 2007; Mari *et al.*, 2005; Roig *et al.*, 2004). طبق Lu وآخرون (2018) الكبريت على مخلفات الدجاج مما أدى لخفض الفقد الآزوتي 44%، وخفض حمض الكبريت خلال مرحلة الحرارة المرتفعة من التخمير 10% (Wang *et al.*, 2019) من الأمونيا المفقودة. واستخدم Li وآخرون (2020) كلوريد المغنزيوم وكبريتات الحديد بمعدل 5%، سبب ذلك زيادة محتوى السماد الناتج من الأمونيوم 60% و 66% على الترتيب وخفض فقد الأمونيا 58% و 82% أيضاً على الترتيب للمعاملتين المذكورتين، بينما انخفضت الكمية التراكمية من غاز الأمونيا المفقودة بنسبة 89% خلال تخمير المخلفات الصلبة للصرف الصحي (sewage sludge) بإضافة سماد سوبر فوسفات الكالسيوم بمعدل 5% على أساس الوزن الرطب، ما أدى لزيادة في محتوى السماد العضوي من الآزوت الكلي بنسبة 24% وتخفيض فقد الأمونيا بمعدل 89% (Jiang *et al.*, 2014). بين Pan وآخرون (2018) أن حماية الآزوت خلال تخمير مخلفات الصرف الصحي ممكنة بمجموعة من الإضافات الحمضية كحمض الستريك وفوسفات المغنزيوم والهيدروجينية وسوبر فوسفات

الكالسيوم ليخفض فقد الأمونيا نتيجة المعاملات بنسب تراوحت من 50%–89%. إن إضافة المواد الكيميائية الحمضية رغم دورها الجلي في تخفيض الفقد الأزوتي، قد تزيد من الناقلية الكهربائية في السماد الناتج كما هو الحال في كالسيوم السوبر فوسفات (Jiang et al., 2014; pan et al., 2018).

اتجهت الأبحاث حديثاً باتجاه ترسيب الأمونيوم على شكل ستروفيت (فوسفات الأمونيوم المغنيزية) وهو فلز فوسفاتي أبيض بلوري، ينتج عن تفاعل أيونات الأمونيوم والفسفور والمغنيزيوم حيث تتفاعل هذه الأيونات عند وجودها بصورتها الذائبة في الماء بنسب مولية 1:1:1 تحت الظروف المعتدلة والقلوية، بالمقابل ويعطى الصيغة الكيميائية التالية ((NH<sub>4</sub>) MgPO<sub>4</sub>. 6H<sub>2</sub>O) (Jiang et al., 2016b) أو ((NH<sub>4</sub>) MgPO<sub>4</sub>. 6H<sub>2</sub>O) (Wong et al., 2017) المتشكلة وفق المعادلة الآتية: (Wang and Zeng, 2017)



يعتبر Jeong و Kim (2001) أول من طرح هذه الطريقة لحفظ الأمونيوم خلال تخمير مخلفات الطعام وحققا زيادة في الأزوت الكلي 3–5 مرات بإضافة أملاح المغنيزيوم والفسفور مقارنة مع الشاهد، واقترحا أنه يمكن الاستفادة من المحتوى الأزوتي والفوسفاتي للمنتج. توالى الدراسات التي استخدمت أملاح متعددة لنفس الغاية وذلك بالاعتماد على نفس المبدأ وهو ترسيب الأمونيوم خلال مرحلة التخمير، وتخفيض فقد الأمونيا بمعدل 40–84% من مخلفات الدواجن أثناء التخمير (Zhang and Lau, 2007; Zhang, 2008). وخفض تشكل الستروفيت الأزوت المفقود أثناء تخمير مخلفات الطعام من 23% إلى 41% (Wang et al., 2013). خفض Jiang وآخرون (2016 a) تطاير الأمونيا بمقدار 53% عند تخمير مخلفات الخنازير باستخدام حمض الفوسفور وأوكسيد المغنيزيوم بنسبة 15% من المحتوى المولي من الأزوت الأولي. وقام Jiang وآخرون (2016 b) بتجريب مصادر مختلفة من الأملاح على مخلفات الخنازير أيضاً ((Mg(OH)<sub>2</sub> + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ، ((MgSO<sub>4</sub> + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ، ((KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + MgSO<sub>4</sub>) ، ((Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> + MgSO<sub>4</sub>) لتخفيض فقد الأمونيا بنسب تراوحت من 50%–81%، أدى ذلك لزيادة المحتوى الأزوتي الكلي في المنتج العضوي بنسب تراوحت من 44%–73%. أظهرت جميع المعاملات تشكل الستروفيت بنسب مختلفة، فكان أقلها في معاملة حمض الفوسفور وسلفات المغنيزيوم نظراً لانخفاض درجة الـ pH. لقد أضيفت أملاح المغنيزيوم والفسفور من مصادر متعددة وأدت لتشكيل الستروفيت وتخفيض الأمونيا المنبعثة خلال تخمير المخلفات العضوية متنوعة المصدر. تجدر الإشارة أنه سبق واستخدمت عدد من المركبات التي سبق إضافتها لتخفيض الـ pH خلال التخمير. لقد وثق (Wang et al., 2010) بأنه ينتج فلز الستروفيت في مجال واسع من درجات الـ pH تراوحت بين 7.5 و 9. من الجدير بالاهتمام معرفة تكلفة ومدى توفر هذه الأملاح وهل من الممكن الاستفادة من الأزوت المثبت. تشير عدد من الدراسات الحديثة أن الستروفيت يتصرف كسماد بطيء التحرير للمغذيات (Diwani et al., 2007 ; Rahman et al., 2014) ، بالتالي قد يلعب الستروفيت المتشكل خلال مرحلة التخمير دور سماد يحرر المغذيات ببطء بعد تطبيقه في التربة وذلك تبعاً للتوازنات الكيميائية في الوسط كما هو حال الزيولايت.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تتعرض مخلفات المداجن العضوية الغنية بالآزوت أثناء تخميرها بهدف إنتاج السماد العضوي لفقد الآزوت على شكل أمونيا، يقلل ذلك من جودة الأسمدة المنتجة وقيمتها الخصوبية، يدفع ذلك المزارع لإضافة كميات أكبر من الأسمدة العضوية لسد حاجات النبات الغذائية وخاصة الآزوتية منها، أو تدعيم هذه الأسمدة بمكملات من الأسمدة المعدنية. من هنا جاءت ضرورة البحث عن أساليب كيميائية زراعية تحد من الفقد الآزوتي الحاصل لتؤمن الاستغلال الأمثل لعناصر مخلفات المداجن العضوية وتحقيق الاستفادة المثلى من محتواها الآزوتي. يهدف البحث إلى:

1- تقييم دور الزيولايت السوري وأملاح المغنيزيوم والفسفور السمدية المتوفرة في تقليل الفقد الآزوتي خلال تخمير مخلفات المداجن.

2- تحسين جودة كمبوست مخلفات المداجن بزيادة محتواه الآزوتي.

**طرائق البحث ومواده:****خام الزيولايت السوري:**

جُلب الزيولايت من منطقة السيس موقع نل مكحلات جنوب شرق دمشق بحوالي 170 كم. تم طحن الزيولايت وغُسل بالماء المقطر وجُفّف على حرارة 50 درجة مئوية ونُحِّل على قطر أقل من 2 مم جُمعت نتائج تحليل الزيولايت في الجدول (1)

جدول(1): بعض خصائص خام الزيولايت الطبيعي السوري

14.7	%CaCO <sub>3</sub>
8.6	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (Zeolite:H <sub>2</sub> O,1:2.5)
115	CEC ميلي مكافئ/ 100 غ

**مخلفات المداجن:**

تم الحصول على المخلفات من إحدى المداجن الخاصة بتربية دجاج اللحم حيث تستخدم نشارة الخشب كفرشة في أرضية المدجنة. جُمعت خصائص المخلفات في الجدول (2).

اتبع في تحليل خواص الزيولايت ومخلفات المداجن الطرق الموصوفة لدى Ryan وآخرون (2001).

**تجربة التخمير (تصميم المخمرات):**

صممت مخمرات محكمة الإغلاق باستخدام مستوعبات من البلاستيك سعة 2 كغ. نُقِب المستوعب من الأسفل ليستقبل أنبوب التهوية، ومن الأعلى لتثبيت أنبوب للهواء الخارج من أعلى غطاء المستوعب. وُضعت عينة مخلفات المداجن داخل المستوعب ليعبرها الهواء القادم من الأسفل والذي مصدره مضخة هوائية متخللا العينة وليخرج من أعلى المستوعب عبر الأنبوب الخارج الذي ينتهي إلى عبوة حمض البوريك (5%) لاستقبال الأمونيا المتطايرة. استقبل كل مخمر 350 غ من مخلفات المداجن الرطبة، تم تعديل الرطوبة الوزنية لتصل إلى 55% عبر إضافة الماء اللازم عند بداية وخلال التجربة.

تم رفع نسبة C:N باستخدام قش القمح من حوالي 12.9:1 إلى حوالي 15.2:1، إن هذه النسبة تعد منخفضة لكنها نسبة مقارنة لعدد من الأبحاث (Mahimairaja *et al.*, 1994). تمت إضافة الزيولايت بمعدل 15% من الوزن الجاف. أما أملاح المغنيزيوم والفسفور فقد أضيفت انطلاقاً من سمادي كبريتات المغنيزيوم (MgSO<sub>4</sub>) (10% Mg)

والسوبر فوسفات المركز (TSP) (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ، أضيفت الأملاح بمعدل 0.10 مول من عدد مولات الآزوت الأولية وذلك على أساس محتواها من Mg ، PO<sub>4</sub> لتحقيق النسبة المولية (1:1 Mg:PO<sub>4</sub>). تم خلط المحسنات (الزيوليت والأملاح) مع المخلفات قبل وضعها في المخمر. وضعت المخمرات في الحاضنة (شكل 1) لمدة 120 يوم وتم رفع حرارة الحاضنة تدريجياً من 20-60 درجة مئوية لفترات زمنية متقاربة امتدت لـ 50 يوماً، على الشكل التالي 20-30-40 درجة مئوية لمدة 21 يوم بفاصل أسبوع لكل درجة حرارة، ثم درجة حرارة 50 لمدة 12 يوم لترفع إلى درجة 60 لمدة 18 يوم ثم خفضت حرارة الحاضنة عند اليوم 50 تدريجياً وذلك بشكل مشابه لما يحدث عادة في كومة التخمر حتى حرارة 30 وهي حرارة الوسط الخارجي. تمت عملية التهوية بالمضخات الهوائية بمعدل تهوية حوالي 0.25 ليتر/دقيقة/كغ مخلفات جافة.

جدول(2): بعض خصائص مخلفات المداجن

7.8	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (PM:H <sub>2</sub> O,1:5)
4.11	EC ميلي موس/سم
45.2	C %
1.66	P% الكلي *
3.5%	N% الكلي *
1747	NH <sub>4</sub> -N مغ/كغ
%45	الرطوبة الوزنية %

\* : على أساس الوزن الجاف



الشكل(1) المخمرات ضمن الحاضنة

## المعاملات:

OM: مخلفات مداجن (الشاهد).

OMZ: مخلفات مداجن خلطت مع زيوليت بمعدل 15% من الوزن الجاف للمخلفات.

OMS: مخلفات مداجن خُلطت مع الأملاح (MgSO<sub>4</sub> و TSP) بمعدل 0.10 مول من عدد مولات الآزوت الأولية.  
OMZS: مخلفات مداجن خُلطت مع الزيولايت وأملاح معدنية (MgSO<sub>4</sub> و TSP) بمعدل 0.10 مول من عدد مولات الآزوت. الأولية

عدد المعاملات = 4. عدد المكررات = 3. عدد المخمرات = 12

#### القياسات المنفذة:

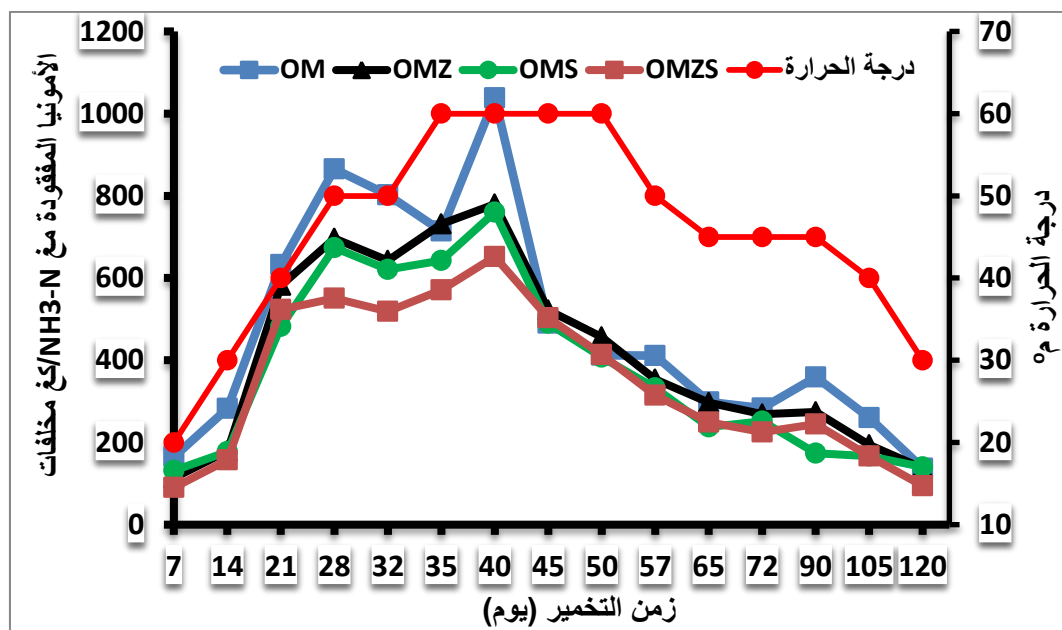
- نفذت القياسات التالية خلال فترة التخمير والتي استمرت 120 يوم.
- الأمونيا المفقودة: تم قياس الأمونيا المتطايرة والتي اصطبغت في حمض البوريك بأخذ عينة كل فترة قياس وتقدير الآزوت باستخدام جهاز تقطير الآزوت كداهل.
  - نفذت القياسات التالية لعينات المخلفات المخمرة وذلك بعد تجفيفها على درجة حرارة 70 درجة مئوية لمدة 48 ساعة ثم طحنها:
1. الأمونيوم المعدني المتاح الذي استخلص بكلوريد البوتاسيوم وُقِدَ بطريقة الإندوفينول وقياس المعقد الأزرق على جهاز سيكترو فوتوميتر عند طول موجة 630 nm (Koroleff, 1979).
  2. درجة الـ pH والناقلية الكهربائية لمستخلص مائي 1:5 باستخدام جهاز pH-meter.
- نفذت القياسات التالية على العينات المخمرة في نهاية التجربة وذلك بعد تجفيفها وطحنها:
1. الآزوت الكلي: بواسطة جهاز التقطير كداهل بعد الهضم بالطريقة الرطبة.
  2. الفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM = Scanning electronic microscope) للوقوف على التركيب الفلزي للعينة، وذلك على عينة جافة ومطحونة لأقطار 150 ميكرون.

#### النتائج والمناقشة:

##### الأمونيا المفقودة خلال التخمير:

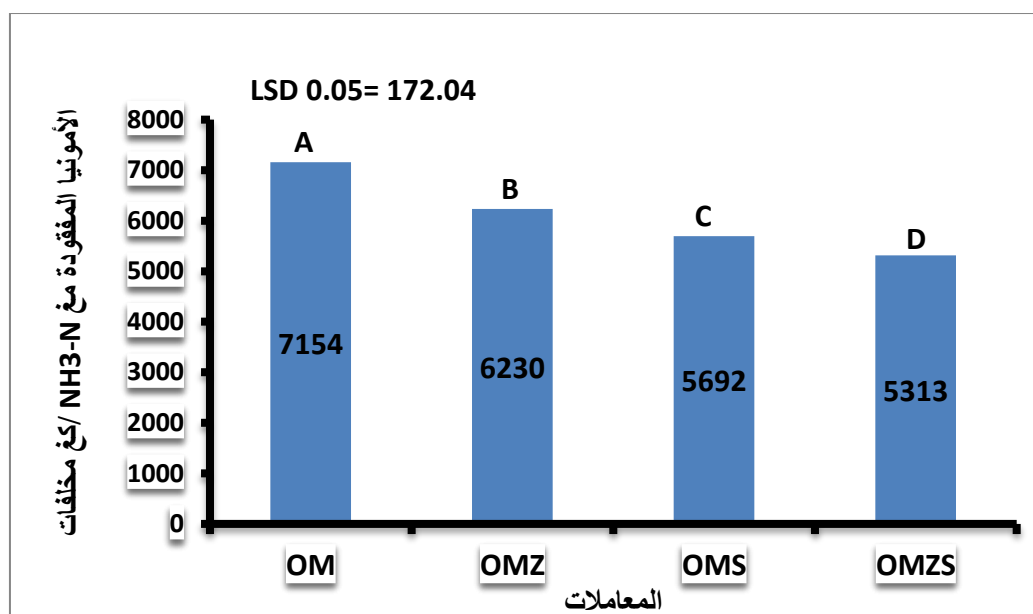
بدأ تطاير الأمونيا منذ بداية التخمير وهو ناتج عن الآزوت المعدني المتواجد في المخلفات، والتي يشكل حمض البوريك النسبة الأعظم منه. كانت كمية الأمونيا المفقودة قليلة لم تتجاوز 200 مغ /N كغ بعد سبعة أيام وفي جميع المعاملات (شكل 2)، لتزداد بعدها الكمية المفقودة مع تقدم الزمن وارتفاع الحرارة لتبلغ ذروتها بين 21-40 يوم حيث سُجِلت أعلى قيم للفقد في جميع المعاملات وكانت حوالي 1000 مغ /N كغ في معاملة الشاهد (OM). توافقت هذه المرحلة مع حرارة تراوحت بين 40-60 درجة مئوية حيث رُفعت الحرارة في الحاضنة بالتدرج لتصل إلى درجة الحرارة الموافقة لمرحلة thermophilic لتسبب تزايد في كمية الأمونيا المفقودة. انخفضت قيم الأمونيا المتطايرة بشكل تدريجي، في جميع المعاملات، مع تقدم التخمير من اليوم 45 حتى نهاية التجربة لتسجل قيم أقل من 200 مغ -NH<sub>3</sub> /N كغ مخلفات وصولاً لليوم 120.





الشكل (2) كمية الأمونيا المفقودة خلال عملية تخمير مخلفات المداجن تبعاً لزمان التخمير.

جُمعت الكمية الكلية للأمونيا المتطايرة لكل معاملة خلال مدة التجربة (120 يوم) وتم تمثيلها في الشكل (3). بلغت قيمة الأمونيا الكلية المفقودة في ظروف التجربة في معاملة الشاهد (OM) 7154 مغ NH<sub>3</sub>-N /كغ مخلفات، وهي تشكل نسبة 20.44% من كمية الأزوت الأولية الكلية في مخلفات المداجن وتشكل 68% من الأزوت المفقود خلال التخمير. خفض الزيولايت (OMZ) فقد الأمونيا خلال التخمير وبطريقة معنوية مقارنة مع معاملة الشاهد، حيث بلغت كمية الأمونيا التي تطايرت حوالي 6229 مغ/كغ وهي تشكل حوالي 17.79% من قيمة الأزوت الأولية للمخلفات وبلغت نسبة التخفيض في فقد الأمونيا 12.9% مقارنة مع الشاهد.



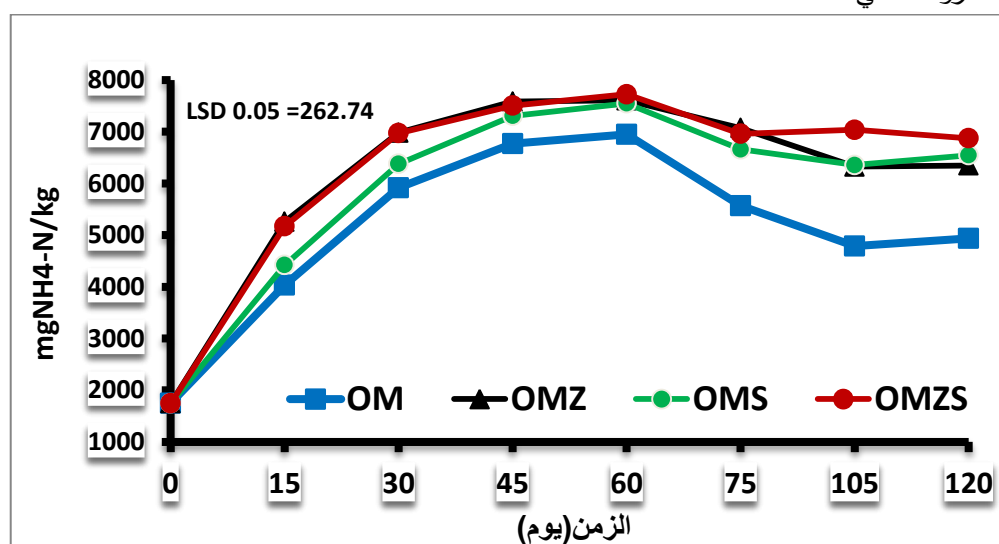
الشكل (3) الكمية الكلية للأمونيا المفقودة خلال تخمير مخلفات المداجن.

خفضت أملاح المغنزيوم والفسفور كمية الأمونيا المتطايرة خلال التخمر، بلغت كمية الأمونيا المفقودة خلال 120 يوم 5692 للمعاملة OMS لتبلغ نسبة الفقد الحاصل على شكل أمونيا 16.26% من كمية الأزوت الأولية وذلك بكمية أقل معنوياً من الكمية المفقودة من معاملي الشاهد OM والزيولايت OMZ، وهي تشكل نسبة تخفيض تساوي 20.4% مقارنة مع الشاهد (شكل 3).

أدت عملية إضافة الزيولايت إلى جانب الأملاح لتقليل الأزوت المفقود بالتطاير على شكل أمونيا، تم اصطياد حوالي 5313 مغ NH<sub>3</sub>-N / كغ مخلفات في معاملة OMZS وهي قيم أقل معنوياً من قيم الفقد في الشاهد ومن جميع المعاملات. بلغت نسبة الفقد في هذه المعاملة 15.18% من كمية الأزوت الأولية، لنحصل على كمية تخفيض حوالي 25% بمجموع قياسات الأمونيا المصطادة مقارنة مع الشاهد.

#### محتوى الكمبوست المنتج خلال التخمر من الأزوت الأمونياكي NH<sub>4</sub>-N:

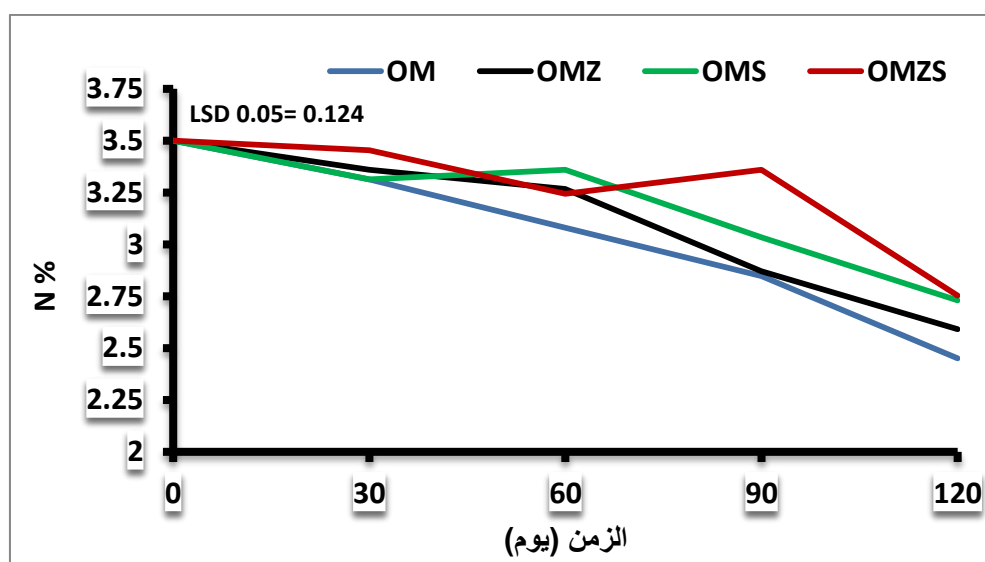
يُظهر الشكل (4) زيادة محتوى الكمبوست من الأمونيوم مع تقدم زمن التخمر، أخذت جميع المنحنيات نفس المنحى العام، تبدو هذه الزيادة مضطربة في جميع المعاملات حتى 30 يوم من بداية التخمر وبلغت حوالي 5900 مغ NH<sub>4</sub>-N/كغ مخلفات في الشاهد (OM) على سبيل المثال، وكانت قيمة أعلى من ذلك في بقية المعاملات. استمرت الزيادة بشكل أقل اضطراباً حتى 60 يوم من بداية التجربة، لتتناقص بعد ذلك قيم الأمونيوم المتاح حتى نهاية التخمر مع تفوق المعاملات التي استقبلت زيولايت أو أملاح أو كليهما على معاملة الشاهد. تبين قيم الأمونيوم المتاح زيادة نسبة الأزوت الأمونياكي من 5% من الأزوت الكلي الأولي إلى حوالي 20% من الأزوت الكلي في نهاية التخمر بالنسبة لمعاملة الشاهد وكذلك عند تخمير الزيولايت مع مخلفات المداجن زادت قيم الأزوت الأمونياكي إلى 28.5% قياساً مع الشاهد ليشكل 24.5% من قيمة الأزوت الكلي النهائية للمعاملة (OMZ). أدت إضافة أملاح المغنزيوم والفسفور (OMS) لزيادة الأمونيوم المتاح بنسبة 32.6% مقارنة مع الشاهد لكن لم تتجاوز نسبة الأمونيوم المتاح 23.2% من قيمة الأزوت الكلي لهذه المعاملة عند نهاية التجربة. تزداد قيم الأمونيوم المتاح عند الجمع بين الزيولايت والأملاح (OMZS) مقارنة مع الشاهد لتصل الزيادة لنسبة 39.2%، ووصلت نسبة الأمونيوم المتاح من الأزوت الكلي 24.54%.



الشكل (4) تغيرات الأزوت الأمونياكي (NH<sub>4</sub>-N) خلال تخمير مخلفات المداجن.

## الآزوت الكلي المفقود خلال التخمر:

يبين الشكل (5) انخفاض النسبة المئوية للآزوت الكلي لجميع المعاملات في نهاية التخمر واختلقت نسبة الانخفاض بحسب المعاملة، سجّل أكبر قيمة للانخفاض في معاملة الشاهد (OM) حيث انخفضت نسبة الآزوت الكلي من 3.5% عند انطلاق التجربة إلى 2.45% في نهايتها أي بمعدل فقد حوالي 30% من كمية الآزوت الأولية (جدول 3). سجلت معاملة الزيولايت (OMZ) زيادة في المحتوى الآزوتي فبلغت 2.59%، أي بزيادة مقدارها 5.71% مقارنة مع الشاهد، لكن لم تكن هذه الزيادة معنوية. أدت إضافة الأملاح إلى تحسّن معنوي في المحتوى الآزوتي الكلي لتبلغ قيمتها 2.73% في المعاملة (OMS) مؤدية لزيادة في نسبة الآزوت بمعدل 11% مقارنة مع الشاهد، أدى ذلك لانخفاض معنوي في النسبة المئوية للفقد لتصل إلى 22% لكن بالمقارنة مع معاملة الزيولايت لم تكن هذه الزيادة معنوية. لم تسبب عملية الجمع بين الزيولايت والأملاح في المعاملة (OMZS) زيادة معنوية في المحتوى الآزوتي الكلي بالمقارنة مع معاملة الأملاح لوحدها أو معاملة الزيولايت لوحده، لكن حافظت على الفروقات المعنوية مع معاملة الشاهد لتحقيق زيادة في نسبة الآزوت 12.24% مقارنة معه، ربما يعود ذلك لدخول وزن الزيولايت ضمن وزن العينة المسحوبة لتقدير الآزوت الكلي.



الشكل (5) تغيرات الآزوت الكلي خلال فترة التخمر

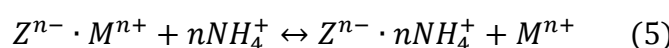
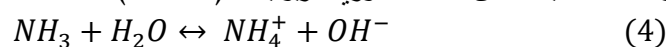
جدول (3) المحتوى الكلي للآزوت ونسب الفقد من الآزوت الأولي.

LSD 0.05	OMZS	OMS	OMZ	OM	المعاملة
0.231	2.75 A	2.73 A	2.59 AB	2.45 B	N% النهائية
6.61	21.4 B	22 B	26 AB	30 A	% للفقد من الآزوت الأولي

تنشط الكائنات الحية الدقيقة لتحطم المركبات العضوية واستخدام العناصر المتاحة وأولها الآزوت لاصطناع وزيادة الكتلة الميكروبية مستخدمةً الكربون كمصدر للطاقة (Wong et al., 2017). ينتج الأمونيوم عن عملية تحول الآزوت

العضوي إلى الشكل المعدني  $NH_4-N$  عبر عملية ammonification (Tiquia and tam, 2000)، وهو بالشكل الذائب (Hao and Benke, 2017)، ينتج تراكم كميات من الأمونيوم التي تعتمد على درجة التآزت والظروف الحيوية (Wong *et al.*, 2017) والتفاعلات الكيميائية التي تطرأ عليه. يتم فقد الأمونيوم من المحلول بعدة طرق إما أن يتحول إلى غاز أمونيا  $NH_3$  وهذا نتيجة دفع شوارد الأمونيوم للتطاير على شكل نشادر بوجود وسط مائل للقاعدية إذ يزداد تطاير الأمونيا عند درجة حرارة أكبر من 40 وحموضة أعلى من 8 (Martins and Dewes, 1992; Bertoldi *et al.*, 1983) وذلك نتيجة عدم ذوبان الأمونيا ( $NH_3$ ) في الماء عند درجة الحرارة والـ pH العالية (Eiland *et al.*, 2001)، الأمر الذي أدى لزيادة تطاير الأمونيا بزيادة درجة الحرارة في ظروف التجربة، خاصة بوجود توافق للمرحلة الحرارية thermophilic مع عملية المعدنة والتي يحدث عندها فقد الأمونيوم بالتطاير على شكل غاز الأمونيا (Hao and Benke, 2017; Wong *et al.*, 2017) فهناك معدنة سريعة أدت إلى زيادة الأمونيوم في الوسط إضافة لسهولة تفكك حمض اليوريك بوجود نشاط حيوي والذي يشكل 70% من المحتوى الآزوتي (Shuler *et al.*, 1979)، وبنفس الوقت كان هذا الأمونيوم معرضاً للتطاير. لقد انخفض التمعدن أو تراكم الأمونيوم لاحقاً في الوسط كون الجزء الأعظم من المركبات الآزوتية العضوية تمعدنت في المرحلة السابقة المتوافقة مع المرحلة الحرارية واستمرار عمليات التطاير للأمونيا دون أن تغفل إمكانية تحول الأمونيوم إلى نترات بوجود نشاط حيوي مع تهوية لوسط التخمر. يمكن أن يمدص الأمونيوم ككاتيون قابل للتبادل على السطوح السالبة العضوية أو المعدنية الموجودة في وسط التخمر. ساهمت الإضافات لوسط التخمر في هذه الدراسة بتخفيض الفقد على شكل غاز أمونيا عن طريق تأثيرها على شوارد الأمونيوم بآليات مختلفة.

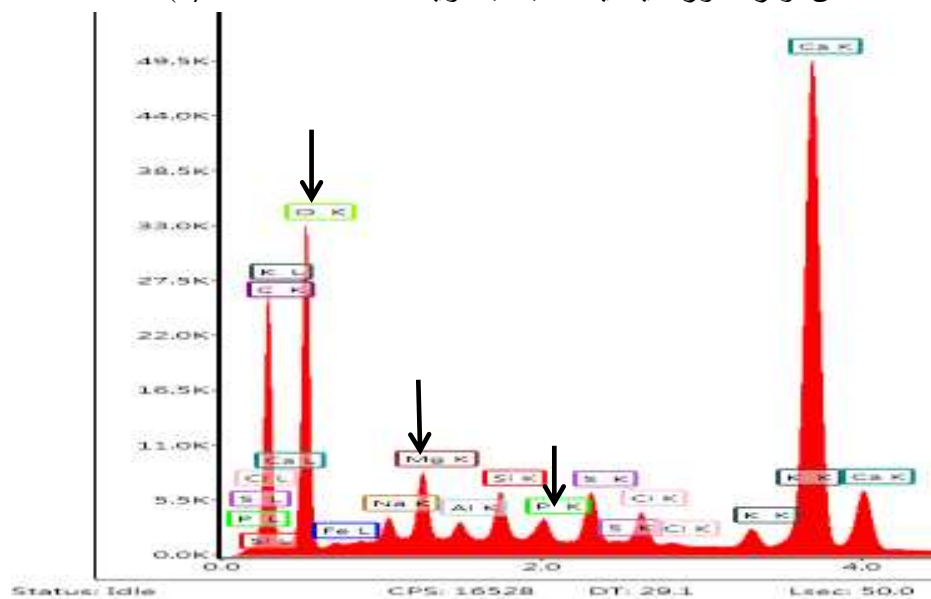
أدى تخمير مخلفات المداجن مع الزيولايت لتخفيض الأمونيا المفقودة خلال التخمر (شكل 3) وذلك قد يعود لقدرته على ربط الأمونيوم عبر الامصاص، درس Younes وآخرون (2023) ادمصاص وحركية الأمونيوم على الزيولايت السوري وتبين ألفة الزيولايت السوري لشوارد الأمونيوم وحدث ادمصاص على السطوح المشحونة بشحنة سالبة أو التبادل مع الكاتيونات الشاغلة لسطوح الامصاص في القنوات والفجوات البنيوية للزيولايت. كما يملك الزيولايت السوري المقدرة على حجز غاز الأمونيا حيث بينت نتائج Habib وآخرون (2022) مقدرة الزيولايت السوري على حجز الأمونيا كجزء قطبي ( $NH_3$ ) في القنوات والفجوات أو ادمصاصه على شكل شوارد  $NH_4^+$  بعد تحول الجزيء غير المشحون إلى الشكل الشاردي وحدث الامصاص نتيجة التبادل الكاتيوني. وبحسب Li وآخرون (2010) إن ادمصاص جزيء الأمونيا ذو طبيعة فيزيائية عن طريق قوى التشتت التي تنشأ بين جزيء  $NH_3$  وشحنة سطوح الزيولايت إضافة للقوى الكهربائية وقوى الخاصة الشعرية، ومن الممكن ادمصاص الشكل الشاردي ( $NH_4^+$ ) نتيجة التبادل الكاتيوني على السطوح ذات الشحنة السالبة للزيولايت، وهذا يتم بعد تحول الأمونيا للشكل الشاردي عبر اكتسابه بروتون والذي قد يكون مصدره بخار الماء المتصاعد من المخلفات أثناء التخمر، الأمر الذي يؤدي أيضاً لترطيب الزيولايت. بين Li وزملاؤه (2010) أن ادمصاص الأمونيا عند ترطيب الزيولايت يكون باليتين، فيزيائية وهي متعلقة بالتركيب الشبكي للزيولايت ومرتبطة بقوى السطوح الخارجية للجزيئات والقوى الكهربائية الساكنة بشكل مشابه لما هو سائد في الامصاص على المواد المسامية، وآلية كيميائية تشمل تحول الأمونيا للأمونيوم بوجود الماء (معادلة 4) وحدث تبادل بينه وبين الكاتيونات الداخلية ضمن البناء البلوري للزيولايت (معادلة 5):

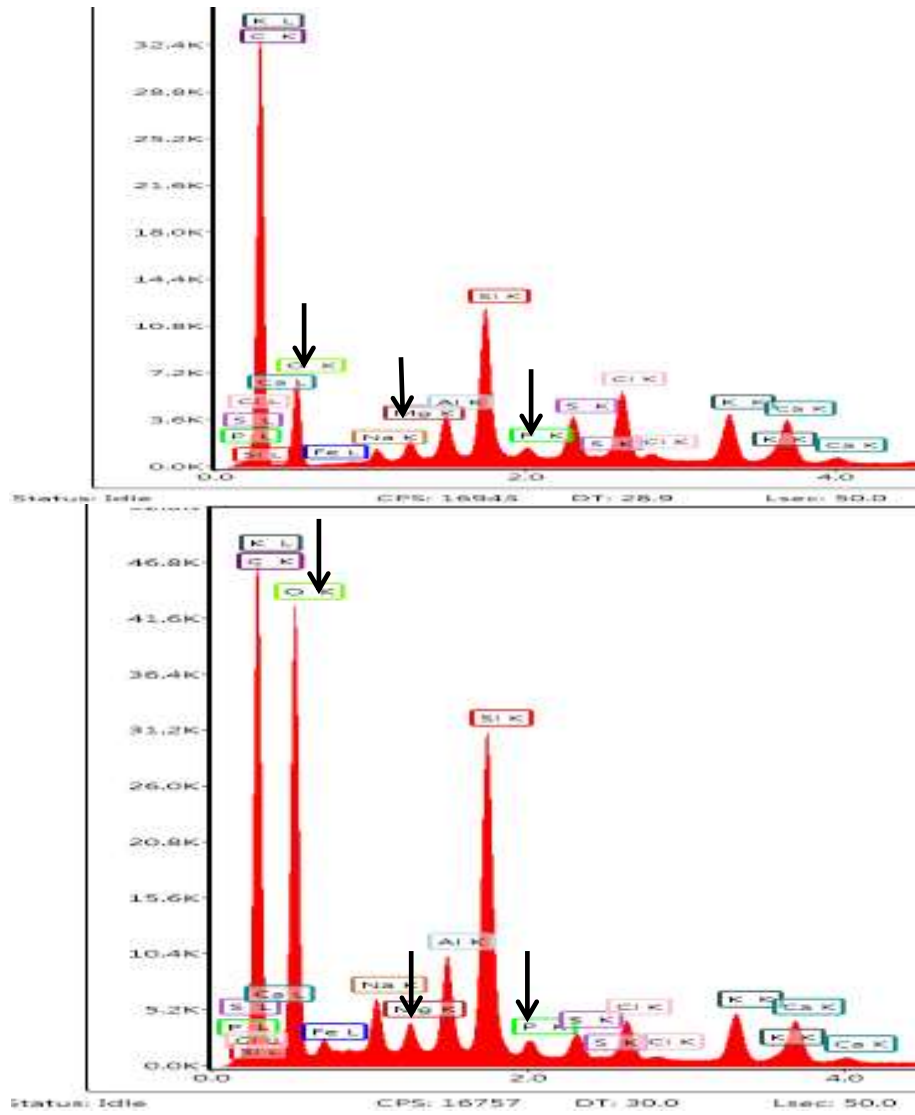


حيث أن  $Z^{n-} \cdot M^{n+}$  يشير على الزيولايت المحمل بكاتيون تبادلي (m).

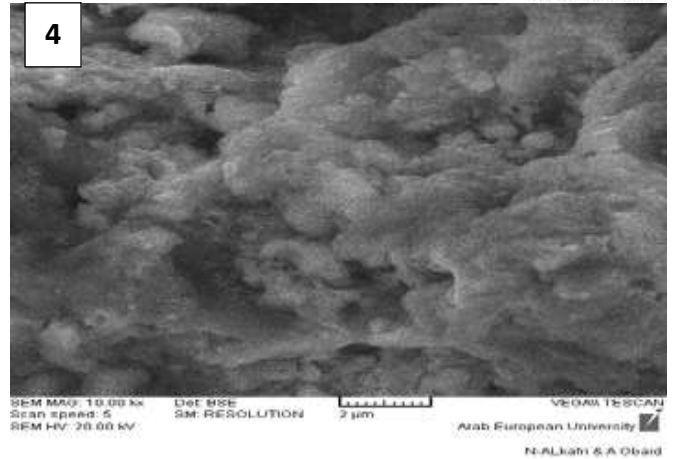
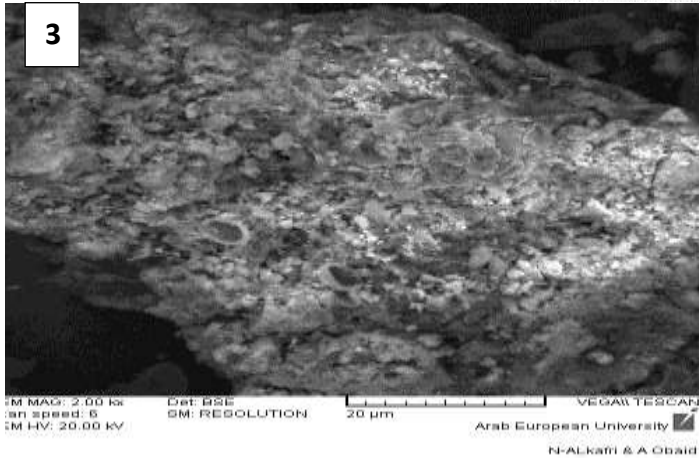
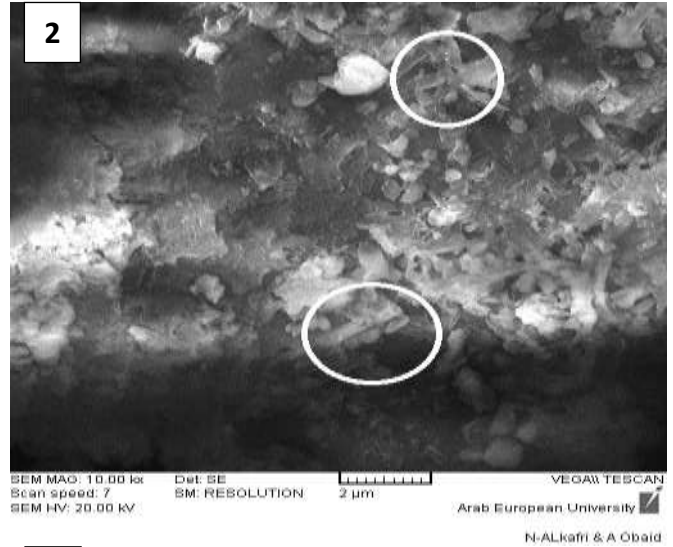
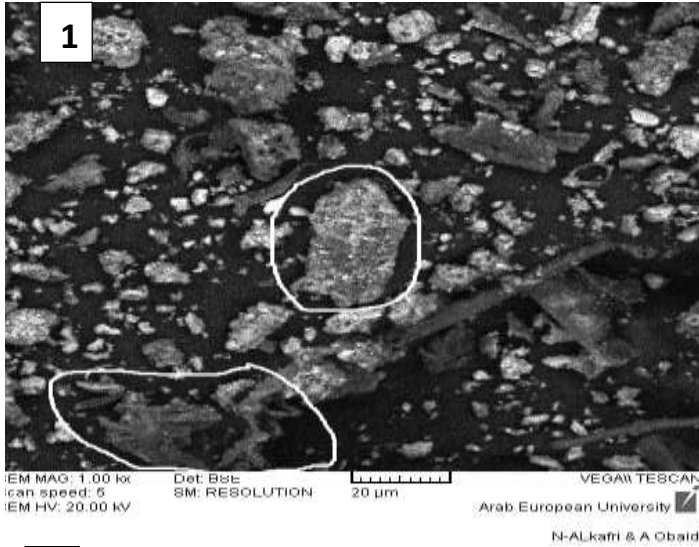
بالاعتماد على الآلية السابقة المقترحة في تخفيض الفقد يمكن تفسير زيادة كل من الآزوت الكلي في معاملة الزيولايت والآزوت الأمونياكي الذي كان قابلاً للاستخلاص بكلوريد البوتاسيوم. تشير عدد من الدراسات لدور الزيولايت في الحصول على منتج عضوي ذو محتوى عالي من الآزوت عن طريق تخميره مع المصادر العضوية المختلفة، لقد زاد الزيولايت من محتوى مخلفات الأبقار من الآزوت الكلي 16% (khodaeijoghan et al. 2010)، وينسب تراوحت بين 40-50% عند استخدامه مترافقا مع الكلس خلال تخمير حمأة الصرف الصحي وقش القمح (Awasthi et al. 2016) توصل Taheri-Soudejani وآخرون (2019) لحفظ الأمونيوم بنسب وصلت إلى 64% عند إضافة الزيولايت الطبيعي بمعدل 15% وزناً للمخلفات المدنية الصلبة وارتفعت إلى 109% عند استخدام الزيولايت المعدل سطحياً بالمغنيزيوم. خفض Lefcourt و Meisinger (2001) الأمونيا المنبعثة خلال تخمير مخلفات الأبقار مع نشارة الخشب بنسبة 50% عند إضافة الزيولايت بمعدل 6.25% من الوزن الرطب للمخلفات. وخفض الزيولايت أيضاً من فقد الأمونيا خلال تخمير مخلفات الطعام 41% عند إضافته بنسب وصلت لـ 40% (Al-Jabi et al., 2008) وانخفض الفقد 18% عند إضافة الزيولايت مترافقا مع أملاح المغنيزيوم والفسفور (Chan et al., 2016).

قد يعود سبب تقليل معاملات الأملاح للآزوت المفقود على شكل أمونيا كما هو مبين بالشكل (3) لترسيب الأمونيوم الذائب على شكل فلز الستروفييت  $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ . نتيجة توافر شوارد المغنيزيوم والفسفات حيث أن معاملات الأملاح استقبلت الفوسفور على شكل سوبر فوسفات والمغنيزيوم على شكل كبريتات المغنيزيوم. أثبتت تحاليل EDX شكل (6) وجود طور متبلور للستروفييت ولكن بتركيز غير كبير، وتبين صورة SEM 1 في الشكل (7) وجود عينتين بلوريتين مختلفتين للستروفييت؛ الأولى بلورة موشورية غير منتظمة ذات رأس سهمي مميز لهذا الفلز، وكذلك بنية مخروطية تظهر رأسياً وتوضحها الأسهم. تبدي نفس العينة أيضاً تجمعات إبرية مترابطة عشوائياً لبلورات الستروفييت أطوالها بحدود 10 ميكرون. وتظهر بلورات ستروفييت إبرية على شكل تجمعات ميكروية من فئة 1-2 ميكرون في الصورة SEM2. إن تفاوت أحجام وأشكال بلورات الستروفييت يعد شائعاً في هذا الفلز وقد يعزى السبب عموماً إلى اختلاف تراكيز الفوسفور في محاليله الأولية رغم أننا قمنا بتوحيدها عند انطلاق التجربة واختلاف زمن التبلور. فظروف تشكله محققة من توافر الشوارد حيث يتشكل بنسب مولية 1:1:1 وفق المعادلة (2)





الشكل (6) صور EDX لعينات الكمبوست المعاملة بالأملح.



الشكل (7) صور المجهر الالكتروني لعينة الكمبوست عند نهاية التخمر (تشير الأرقام 1،2، 3،4 لصور المعاملات التي استقبلت أملاح المغنزيوم والفسفور وتشير الأرقام 3،4 لصور معاملة ال-OM التي لم تستقبل الأملاح).

تعد درجة الـ pH في الوسط مناسبة لتشكل الستروفيت، حيث تراوحت خلال مراحل التخمر بين 7.6 و 8 للمعاملات التي تلقت الأملاح لوحدها أو مع الزيولايت خلال التخمر جدول (4). أشار Wong وآخرون (2017) بأن المجال من 7-11 لدرجة الـ pH هو مجال يُتوقع تشكل الستروفيت فيه، وأنه مفضل عند مجال 7.5-9 (Wang et al., 2010). ربما التفاعل في المعادلة (2) هو الأكثر احتمالية بين التفاعلات الثلاثة (معادلة 1 و 2 و 3) لتشكل الستروفيت على اعتبار سيادة شوارد  $HPO_4^{2-}$  بالدرجة الأولى تليها شوارد  $H_2PO_4^-$  عند هذه الدرجة من الـ pH (7.6-8) في وسط التخمر. تعد درجة الحرارة عاملاً مؤثراً في تطور تشكل الستروفيت، تقلل درجة الحرارة العالية من تشكل الستروفيت في المحاليل المائية لكن لم تظهر زيادة الحرارة حتى 60 درجة مئوية تأثيراً معنوياً على تشكله وتكون الحرارة 25 مفضلة لتشكله (Mijangos et al., 2004). ساهم تشكل الستروفيت خلال تخمر أنواع مختلفة من المخلفات العضوية في تخفيض الفقد الأزوتي على شكل أمونيا (Zhang and Lau, 2007; Chan et al., 2016; Jiang et al., 2016). لقد استخدم Jiang وآخرون (2016 b) أملاح مختلفة كمصادر للمغنزيوم والفسفور خلال تخمر مخلفات الخنازير ومنها كبريتات المغنزيوم وفوسفات الكالسيوم مما ساهم بتخفيض فقد الأمونيا

59% نتيجة تشكل الستروفيت بنسبة 52% من المحتوى المعدني للنتائج النهائي للكمبوست وازداد الآزوت الكلي في السماد 53%.

جدول (4) قيم ال pH خلال عملية تخمير مخلفات المداجن.

LSD 0.05	OMZS	OMS	OMZ	OM	زمن التخمير
0.241	7.73 B	7.71 B	7.84 AB	8.08 A	30
0.249	7.63 B	7.68 B	7.76 B	8.16 A	60
0.28	7.78A	7.79 A	7.92 A	7.98 A	90
0.22	7.76A	7.69A	7.78 A	7.8 A	120

إن وجود الأملاح ( $MgSO_4:Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ) قد يكون قد لعب دوراً غير مباشر في حفظ الأمونيا أيضاً، وذلك من خلال تأثيره على درجة الحموضة ولعبه دور موقفي لارتفاع درجة ال pH مما يقلل من إمكانية فقد الأمونيوم على شكل غاز الأمونيا مقارنة مع معاملة الشاهد التي ارتفعت فيها درجة ال pH لحدود أعلى من 8 في بعض مراحل التخمير (الجدول 4)، كما أنها يمكن أن تتحد مع الأمونيوم مشكلة مركبات أكثر ثباتية من شكله الشاردي. إن وجود شاردة الكبريتات في الوسط قد تؤثر بطريقتين فمن المحتمل ارتباطها مع الأمونيوم على شكل كبريتات الأمونيوم فتقلل من تحول الأمونيوم إلى أمونيا، وكون لدرجة ال pH الدور المحوري في تحولات الأمونيوم إلى أمونيا فوجود شاردة الكبريتات تقلل من ال pH الكمبوست (Garcia de la Fuente *et al.*, 2007). انخفضت الكمية التراكمية من غاز الأمونيا المفقودة 89% خلال تخمير المخلفات الصلبة للصرف الصحي (sewage sludge) بإضافة سماد سوبر فوسفات الكالسيوم بمعدل 5% على أساس الوزن الرطب، ما أدى لزيادة في محتوى السماد العضوي من الآزوت الكلي 24% (Jiang *et al.*, 2014). بين Pan وآخرون (2018) أن حماية الآزوت خلال التخمير ممكنة بمجموعة من الإضافات الحمضية كحمض الستريك وفوسفات المغنيزيوم والهيدروجينية وسوبر فوسفات الكالسيوم. إن الإضافات الملحية لعبت دور في حماية الأمونيوم من ارتفاع درجة ال pH ولربما مساهمتها في تقليل التطاير وحفظ الأمونيوم في وسط التخمير مما زاد نسبة الأمونيوم المتاح، لكن انخفاض نسبة الأمونيوم المتاح إلى الآزوت الكلي لربما نتيجة ترسب الأمونيوم على شكل ستروفيت، كما أسلفنا فهو حفظه خلال التخمير لكن قلل على ما يبدو من الأمونيوم الذائب والذي يشكل جزء من الأمونيوم المتاح المستخلص بكلوريد البوتاسيوم بالإضافة لذلك أن الستروفيت لا يمكن إذابته بالمحاليل المتعادلة بل يتطلب محلول حمضي (Zhang, 2008) على الرغم من وصفه كفلز يندرج تحت الأسمدة البطيئة التحرير للمغذيات والتي على ما نعتقد تحتاج تطبيقه بزراعة ضمن منظومة تربة- نبات للحكم على قيمته كمنتج يمكن استخدامه بالزراعة.

لعل وجود  $MgSO_4$  في وسط التخمير يثبط microbial uricase حيث حاول Kim و Patterson (2003) تقليل فقد الأمونيا بالتطاير من مخلفات الطيور عن طريق التأثير على أنزيم uricase عبر استخدام بعض المواد المعدنية مثل كبريتات الزنك والنحاس والمغنيزيوم، فنجحوا في التخفيف من نشاط الأنزيم عبر استخدام هذه المواد المعدنية وكان الأثر الأقل لكبريتات المغنيزيوم بينها لكن بتحضيره مع الأنزيم لمدة 15 دقيقة خفض نسبة 80% من نشاطه. الأمر الذي قد يكون لعب دوراً في منع تحول مصدر هام للآزوت في مخلفات الدواجن والذي هو حمض اليوريك الناتج عن بول الطيور من التحلل لإعطاء الأمونيوم وحمايته من الفقد بالتطاير.



**الاستنتاجات والتوصيات:**

1. حصل فقد لحوالي 30% من المحتوى الآزوتي الأولي خلال مراحل تخمير مخلفات المداجن، شكلت الأمونيا المتطايرة نسبة حوالي 70% من كمية الفقد.
2. خفضت معاملات الزيولايت والأملاح من فقد الآزوت على شكل أمونيا أثناء تخمير مخلفات المداجن بنسب تراوحت بين 12.9 و 25% مقارنة مع تخميرها دون أي إضافة للمحسنات، أدى ذلك لزيادة محتوى السماد العضوي الناتج من الآزوت.
3. ظهور فلز الستروفييت في وسط التخمير نتيجة إضافة سلفات المغنيزيوم وسماد سوبر فوسفات الثلاثي يشكل أحد الأساليب الكيميائية للسيطرة على فقد الأمونيا خلال تخمير مخلفات المداجن.
4. يجب تجربة السماد العضوي الناتج زراعياً للحكم على جودته كمرحلة لاحقة لعملية حفظ الآزوت خلال التخمير.

**References:**

1. Al- Kanani,T., Akochi, E., Mackenzie, A.F., Alli, I and Barrington, S. *Organic and inorganic amendments reduce ammonia losses from liquid huge manure*. J. environ, 21, 1992, 709-715.
2. Al-Jabi, L. F., Halalsheh, M. M and Badarneh, D.M. *Conservation of ammonia during food waste composting*. Environ. Technol. 29 10, 2008, 1067–1073.
3. Awasthi, M.K., Wang, Q., Huang, H., Ren, X., Lahori, A.H., Mahar, A., Ali, A., Shen, F., Li, R. and Zhang, Z. *Influence of zeolite and lime as additives on greenhouse gas emissions and maturity evolution during sewage sludge composting*. Bioresour. Technol. 216, 2016, 172–181.
4. Baerlocher, Ch., Mccusker, L.B And Olson, D.H. atlas of zeolite framework types. Sixth Revised Edition, Elsevier B.V ,2007, 405pp.
5. Bernal, M.B., Lopez-Real,G.M and Scott, K. M. *application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting simulator*. Bioresource Technology, 43, 1993, 35-39.
6. Bernal, M.P., Albuquerque, J.A. And Moral, R. *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*. Bioresource Technology. 100 , 2009, 5444–5453.
7. Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. *The biology of composting: a review*, Waste Management & Research, 1, 1983, 157-176.
8. Chan,M. T., Selvam,A. and Wong, J.W.C. *Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment*. Bioresource Technology, 200, 2016, 838–844.
9. Chowdhury, M.A., De Neergaard, A. and Jensen, L.S. *Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting*. Chemosphere, 97, 2014, 16–25.
10. Colella,C. *Ion exchange equilibria in zeolite minerals*.Mineral. Deposita, 31, 1996, 554-562.
11. Diwani,G., Rafie, Sh., Ibiari, N and Aila, H. *Recovery of ammonia nitrogen from industrial wastewater treatment as struvite slow releasing fertilizer*. Desalination, 214, 2007, 200–214.
12. Eghball,B., Power, J.F., Gilley, J.E and Doran, J.W. *Nutrient, Carbon, and Mass Loss during Composting of Beef Cattle Feedlot Manure*. J. Environ. Qual, 26, 1997, 189-193.

13. Eiland, F., Leth, M., Klamer, M., Lind, A.M.. *C and N turnover and lignocellulose degradation during composting of Miscanthus straw and liquid pig manure*. *Compost Sci*, 9, 2001, 186–197.
14. Garcia de la Fuente, R., Carri´on, C., Botella, S., Fornes, F., Noguera, V and Abad, M. *Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes*. *Bioresour. Technol.* 98, 18, 2007, 3561–3569.
15. Habib, L., Alloush, G. and Younes, S. *Kinetics Adsorption Study Of Ammonia On Syrian Zeolite Ore*. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series*, Vol. (44) No. (2) 2022, 2663-4252.
16. Hao, x. and Benke, M. *Nitrogen transformation and losses during composting and mitigation strategies*. *Dynamic soil, dynamic plant 2 (special issue 1)*, 2008, 10-18.
17. Jeong, Y. K And Kim, J.S. *A new method for conservation for nitrogen in aerobic composting processes*. *Bioresource Technology*, 79, 2001, 129–133.
18. Jiang, J., Huang, Y., Liu, X and Huang, H. *The effects of apple pomace, bentonite and calcium superphosphate on swine manure aerobic composting*. *Waste Manag*, 34, 9, 2014, 1595–1602.
19. Jiang, T., Ma, X., Tang, Q., Yang, J., Li, G and Schuchardt, F. *Combined use of nitrification inhibitor and struvite crystallization to reduce the NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O emissions during composting*. *Bioresour. Technol*, 217, 2016a, 210–218.
20. Jiang, T., Ma, X., Yang, J., Tang, Q., Yi, Z., Chen, M and Li, G. *Effect of different struvite crystallization methods on gaseous emission and the comprehensive comparison during the composting*. *Bioresour. Technol*, 217, 2016b, 219–226.
21. khodaeijoghan, A., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M and Dolatabadian, A. *Comparison among different integrated nutrition management for soil micro and macro elements after winter wheat harvesting and yield*. *Not. Sci. Biol*, 2, 2010, 107.
22. Kim, W. K And Patterson, P. H. *Effect of Minerals on Activity of Microbial Uricase to Reduce Ammonia Volatilization in Poultry Manure*. *Poultry Science*, 82, 2003, 223–231.
23. KITHOME, M., PAUL, J. W AND BOMKE, A. A. *Reducing Nitrogen Losses during Simulated Composting of Poultry Manure using Adsorbents or Chemical Amendments*. *J. Environ. Q Ual*, 28, 1999, 194-201.
24. Koroleff, F. *Determination of ammonia. In Methods of Seawater Analysis* (K. Grasshoff, ed.). Verlag Chemie, 1976, 126-133.
25. Kirchmann, H and Witter, E. *Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition*. *Plant Soil* 115, 1, 1989, 35–41.
26. Lefcourt, A and Meisinger, J. *Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition*. *J. Dairy Sci*, 84 8, 2001, 1814–1821.
27. Li, Xue., Lin, Cong., Wang, Yang., Zhao, Ming., Hou and Yu. *Clinoptilolite Adsorption Capability of Ammonia in Pig Farm*. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 2010, 1598–1612.
28. Li, Y.b., Liu, T.t., Song, J.l., Lv, J.h and Jiang, J.s. *Effects of chemical additives on emissions of ammonia and greenhouse gas during sewage sludge composting*. *Process Saf. Environ*, 143, 2020, 129–137.
29. Lu, Y., Gu, W., Xu, P., Xie, K., Li, X., Sun, L., Wu, H., Shi, C and Wang, D. *Effects of sulphur and Thiobacillus thioparus 1904 on nitrogen cycle genes during chicken manure aerobic composting*. *Waste Manag*, 80, 2018, 10–16.

30. Mahimairaja, S; Bolan, N. S; Hedley, M.J And Macgregor, A.N. *Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: an incubation experiment*. Bioresource technology, 47 , 1994, 265-273.
31. Mari, I., Ehaliotis, C., Kotsou, M., Chatzipavlidis, I and Georgakakis, D. *Use of sulfur to control pH in composts derived from olive processing by-products*. Compost Sci. Util. 13 4, 2005, 281–287.
32. Martins, O And Dewes, T. *Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes*. Bioresource Technology, 42, 2, 1992, 103-111.
33. Mijangos, F., Kamel, M., Lesmes, G and Muraaviev, D.N. *Synthesis of struvite by ionexchange isothermal supersaturation technique*. Reactive & Functional Polymers, 60, 2004, 151-161.
34. Mumpton, F. A. *La rocamagica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol, 96, 1999, 3463–3470.
35. Pan, J., Cai, H., Zhang, Z., Liu, H., Li, R., Mao, H., Awasthi, M.K., Wang, Q and Zhai, L. *Comparative evaluation of the use of acidic additives on sewage sludge composting quality improvement, nitrogen conservation, and greenhouse gas reduction*. Bioresour. Technol, 270, 2018, 467– 475.
36. Parkinson, R., Gibbs, V., Burchett, S. And Misselbrook, V. *Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure*. Bioresource Technology, 91 , 2004, 171–178.
37. Rahman, M. M., Salleh, M. A.M., Rashid, U., Ahsan, A., Hossain, M. M. and Ra, C. S. *Production of slow release crystal fertilizer from wastewaters through struvite crystallization – A review*. Arabian Journal of Chemistry, 7, 2014, 139-155.
38. Roig, A., Cayuela, M.L and Sanchez-Monedero, M.A.,. *The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes*. Chemosphere 57, 9, 2004, 1099–1105.
39. Rouf, M. A. And Lomprey, Jr. R. F. *Degradation of Uric Acid by Certain Aerobic Bacteria* Journal Of Bacteriology. Vol. 96, No. 3, 1968, 617-622.
40. Ryan, J., Astafan, G And Alrasheed, A. *Analysis of soil and plant: A laboratory Syria*, 2001.
41. Sarioglu, M. *Removal of ammonium from municipal wastewater using natural Turkish (Dogantepe) zeolite*. Separation and Purification Technology.41, 2005, 1–11.
42. Shuler, M.L., Roberts, E. D., Mitchell, D. W., Kargi, F., Austic, R. E., Henry, A., Vashon, R And Seeley, H. W. *Process for the Aerobic Conversion of Poultry Manure into High-Protein Feedstuff*. Biotechnology and Bioengineering, 1979, 19-38.
43. Steiner, C., Das, K.C., Melear, N. and Lakly, D. *Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar*. J. Environ. Qual, 39, 4, 2010, 1236–1242.
44. Taheri-Soudejani, H., Heidarpour, M., Shayannejad, M., Shariatmadari, H., Kazemian, H., and Afyuni, M. *Composts Containing Natural and Mg-Modified Zeolite: The Effect on Nitrate Leaching, Drainage Water, and Yield*. Clean – Soil, Air, Water, 2019, 1-9.
45. Tiquia, S.M And Tam, N. F. Y. *Fate of nitrogen during composting of chicken litter*. Environmental Pollution, 110, 2000, 535-541.
46. Wang, C.C., Hao, X.D., Guo, G.S and van Loosdrecht, M.C.M. *Formation of pure struvite at neutral pH by electrochemical deposition*. Chem. Eng. J, 159 1, 2010, 280–283.
47. Wang, S and Zeng, Y. *Ammonia emission mitigation in food waste composting: a review*. Bioresour. Technol, 248, 2017.

48. Wang, X., Selvam, A., Chan, M and Wong, J.W.C. *Nitrogen conservation and acidity control during food wastes composting through struvite formation*. Bioresour. Technol. 147, 2013, 17–22.
49. Wang, Y., Bi, L., Liao, Y., Lu, D., Zhang, H., Liao, X., Liang, J.B and Wu, Y. *Influence and characteristics of Bacillus stearothermophilus in ammonia reduction during layer manure composting*. Ecotoxicol. Environ. Saf, 180, 2019, 80–87.
50. Witter, E And Kirchmann, H. *Peat, zeolite and basalt as adsorbents of ammoniacal nitrogen during manure decomposition*. Plant and Soil 115, 1989a, 43-52.
51. Witter, E And Kirchmann, H. *Effects of addition of calcium and magnesium salts on ammonia volatilization during manure decomposition*. Plant and Soil, 115, 1989b, 53-58.
52. Wong, J.W.C., Wang, X and Selvam, A. *improving compost quality by controlling nitrogen loss during composting*. In: Wong, J.W.C., Tyagi, R.D., Pandey, A. (Eds.), Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier, 2017, 59–82.
53. Younes, S., Habib, L and Alloush, G. *Study The Adsorption And Kinetics Of Ammonium On Syrian Zeolite Ore*. Syrian journal for agricultural researches. Vol 10. No 2, 2023.
54. Zhang, W And Lau, A. *Reducing ammonia emission from poultry manure composting via struvite formation*. Chem Technol Biotechnol, 82, 2007, 598–602 .
55. Zhang, W. *Preventive Control Of Ammonia And Odor Emissions During The Active Phase Of Poultry Manure Composting*. Phd Thesis. The University Of British Columbia, 2008, 228P.