The effect of applying sewage sludge on growth and biomass production of *Populous nigra* L. in pots

Dr. Rose Al Koubaili*
Yara Rajab**

(Received 13 / 7 / 2024. Accepted 16 / 10 /2024)

□ ABSTRACT □

The safe disposal of sewage sludge is one of the main environmental concerns around the world, and methods of disposal vary from pumping it to sanitary landfills or incinerating it. However, reusing it as fertilizer that enriches and improves soil properties is considered the best option from an environmental and agricultural point of view due to its richness in essential nutrients for plant growth and development. However, it must be applied with caution to avoid the potential transfer of heavy metals and pathogens into the food chain, and as an alternative solution sludge has been applied as a fertilizer for particularly fast-growing forest species.

The aim of this study is to evaluate the effects resulting from applying different doses of dry sewage sludge on the growth of black poplar seedlings. After 7 months of planting, 4 experimental treatments were compared: T0 without adding sludge, T1 (15% sludge), T2 (30% sludge), T3 (60% sludge). The results showed an increase in height over time in all treatments, but at a significantly higher rate in treatments (T2 & T3) after 7 months of treatment with sewage sludge, as measurements were taken every 30 days post treatment. It was also observed that treatment T2 was significantly superior to the rest of the treatments in terms of seedling diameter. The results of dry biomass showed superiority of treatments T2 and T3 over the rest of the treatments.

Key words: sewage sludge, *Populous nigra*, and biomass.

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

* **Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. rosalkub@gmail.com.**
****postgraduate student, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Yararajab96@gmail.com.**

أثر تطبيق حمأة الصرف الصحي على النمو والكتلة الحيوية للحور الأسود (*Populous nigra*) ضمن أصص بلاستيكة

د. روز القبيلي*

يارا رجب**

(تاريخ الإيداع 13 / 7 / 2024. قبل للنشر في 16 / 10 / 2024)

□ ملخّص □

يعد التخلص الآمن من حمأة الصرف الصحي أحد الاهتمامات البيئية الرئيسة في مختلف أنحاء العالم، وتتنوع طرق التخلص منها ما بين ضخها في مطامر النفايات الصحية، أو ترميدها إلا أن إعادة استخدامها كسماد مخصب ومحسن لخصائص التربة يعتبر الخيار الأفضل من وجهة نظر بيئية وزراعية نظراً لغناها بالعناصر الغذائية الأساسية لنمو النبات وتطوره، ولكن يجب أن تطبق بحذر لتجنب الانتقال المحتمل للمعادن الثقيلة والكائنات الممرضة إلى السلسلة الغذائية، وكحل بديل تم تطبيق الحمأة كسماد للأنواع الحراجية سريعة النمو بشكل خاص.

الهدف من هذه الدراسة تقييم آثار تطبيق جرعات مختلفة من حمأة الصرف الصحي الجافة على نمو غراس الحور الأسود *Populous nigra*، حيث تم بعد 7 أشهر من الزراعة مقارنة 4 معاملات تجريبية هي T0 دون إضافة الحمأة، T1(15% حمأة)، T2(30% حمأة)، T3(60% حمأة). وبينت النتائج ازدياد ارتفاع الغراس مع الزمن في جميع المعاملات ولكن بوتيرة أعلى معنوياً في المعاملتين T2 و T3 بعد 7 أشهر من المعاملة بحمأة الصرف الصحي، إذ أخذت القياسات كل 30 يوماً بدءاً من المعاملة. كما لوحظ تفوّق معنوي واضح للمعاملة T2 على باقي المعاملات من حيث قطر الغراس . وأظهرت نتائج الكتلة الحيوية الجافة تفوقاً للمعاملتين T2 و T3 على باقي المعاملات.

الكلمات المفتاحية: حمأة الصرف الصحي، الحور الأسود، الكتلة الحيوية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

*مدرّس، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. rosealkub@gmail.com

**طالبة (ماجستير ، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. Yararajab96@gmail.com

مقدمة:

ازداد التعداد السكاني في العالم بوتيرة متسارعة من 5.3 مليار عام 1992 إلى 7.6 مليار نسمة عام 2018، ومن المتوقع أن يصل إلى 9.9 مليار نسمة عام 2050 (World Population Data Sheet, 2018)، وسيؤدي هذا النمو السكاني المتسارع إلى زيادة في كمية مياه الصرف الصحي الناتجة من جهة وبالتالي كمية حمأة الصرف الصحي المعالجة من جهة أخرى (Li *et al*., 2011).

ينتج عن معالجة مياه الصرف الصحي في محطات المعالجة كميات كبيرة من المخلفات شبه الصلبة المعروفة باسم الحمأة (Verlicchi and Zambello, 2015)، وتعرف الحمأة تبعاً لوكالة حماية البيئة الأمريكية /USEPA/ على أنها عبارة عن مزيج شبه صلب من المواد العضوية المحملة بالبكتريا والفيروسات والمعادن الثقيلة ومواد كيمائية أخرى، بالإضافة إلى المواد الصلبة المترسبة والمزالة من مياه الصرف الصحي في محطات المعالجة (USEPA, 2003)، وتقدر كميتها في العالم بحدود (25–40) كغ / الشخص /العام دون حساب مياه الصرف الصناعي.

أصبحت فكرة إعادة استخدام العناصر الغذائية عن طريق إضافة حمأة الصرف الصحي إلى التربة الزراعية ممارسة أكثر شيوعاً، وتعتبر حلاً بديلاً قابلاً للتطبيق لطرق التخلص الأخرى مثل الحرق أو الطمر (Roig *et al*., 2012)، ونظراً لأن حمأة الصرف الصحي في المناطق الحضرية تحتوي على كميات هائلة من المواد العضوية والمغذيات النباتية، فقد ثبت أنها مفيدة لتحسين خصوبة التربة (Grobelak *et al*., 2017). وأشارت الدراسات السابقة إلى أن النباتات الخشبية مثل أنواع الصفصاف *Salix* spp (Kubatova *et al*., 2016) والحور *Populus* spp (Houda *et al*., 2016) تعتبر الخيار الأفضل عند استخدام حمأة الصرف الصحي فهي فعالة في امتصاص المعادن الثقيلة في الحمأة، واقترحت هذه الدراسات اختيار أنواع خشبية ملائمة تمتلك كتلة حيوية مرتفعة ومجال تسامح واسع مع المعادن الثقيلة تجعل منها طريقة فعالة واقتصادية وآمنة بيئيا عند استخدام حمأة الصرف الصحي (Yeşilyurt *et al*., 2024).

أجريت العديد من الدراسات منذ أواخر القرن الماضي لتقييم آثار استخدام المخلفات العضوية على مناطق الغابات وعلى نمو الأشجار، وأظهرت النتائج آثار إيجابية لتطبيق حمأة الصرف الصحي على تطور العديد من المشاجر (Henry *et al*., 1993; Henry and Cole, 1997)، وأفادت العديد من الدراسات أن تطبيق حمأة الصرف الصحي عزز من خصوبة التربة ونمو الأشجار في الغابات الأوروبية والأمريكية (Wang *et al*., 2017; Mosquera-Losada *et al*., 2018)، وكذلك في الغابات الآسيوية (Li *et al* ., 2021). في الواقع، فإن تطبيق الحمأة يحسن محتوى التربة من الكربون العضوي، والنيتروجين الكلي، والنيتروجين المتاح، وإجمالي الفوسفور الذي تحتاجه النباتات (Zhao *et al*., 2021)، مما يؤدي إلى زيادة في إنتاجية الكتلة الحيوية والمخزون الخشبي في المزارع الغابوية (Abreu *et al*., 2017; Alaoui-Sossé *et al*., 2018)، والأهم من ذلك منع دخول بعض المواد الخطرة إلى السلسلة الغذائية وبالتالي التقليل من مخاطر التلوث المحتملة على الإنسان والماشية (Abreu *et al*., 2017; Rodriguez *et al*., 2018; Sass *et al* ., 2020 ; Li *et al*., 2021).

في سورية، ذكر الشيخة (2015) أنّ إنتاج الحمأة يصل إلى أكثر من 200 ألف طن سنوياً في العام. وأجريت عدة دراسات وبحوث حول استخدام الحمأة محلياً، فعلى سبيل المثال تم دراسة تأثير إضافة الحمأة على محاصيل القطن، القمح، الذرة الصفراء والبيقية خلال الفترة الممتدة من عام 2006 حتى عام 2010، ولوحظ زيادة معنوية في إنتاجية هذه المحاصيل، كما لوحظ زيادة في تراكم بعض العناصر الثقيلة في التربة ولا سيما الكادميوم والرصاص Al)

Zouabi *et l.*, 2010). وفي دراسة أخرى تم تقييم دور الحمأة في استصلاح الترب الكلسية في منطقة المخرم في محافظة حمص وأثبتت النتائج دوراً هاماً للحمأة في زيادة محتوى التربة من المادة العضوية وتحسين الخواص الفيزيائية سواء الكثافة الظاهرية أو الحقيقية وكذلك قوام التربة (Khansi, 2013). ودُرس دور معالجة مياه الصرف الصحي لأغراض الري (Shahin, 2018). كما تم تقييم أثر إضافة جرعات مختلفة من الحمأة على نمو الأوكاليبتوس المنقاري في منطقة فديو في محافظة اللاذقية، وأظهرت النتائج دوراً هاماً للحمأة في زيادة إنتاجية الكتلة الحيوية والمخزون الخشبي للأوكاليبتوس وزيادة محتوى التربة والنبات من العناصر الغذائية المختلفة (Al Koubaili, 2017). كما أظهرت الدراسات تأثير تطبيق حمأة الصرف الصحي في تراكم كل من الرصاص والكروم في ترب وأنسجة نبات الأوكاليبتوس (الأوراق والجذع والبقايا النباتية) في محافظة اللاذقية (Shahin *et al.*, 2017).

أهمية البحث وأهدافه:

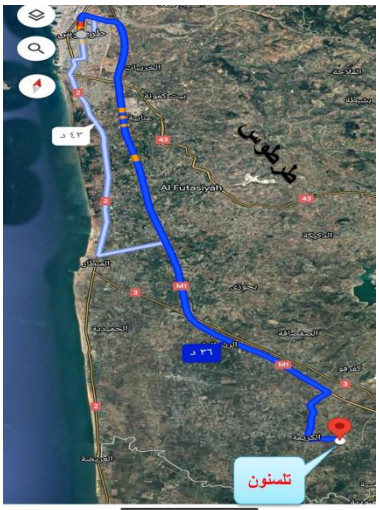
تأتي أهمية هذا البحث في إعادة تدوير الحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المنطقة الساحلية كسماد عضوي، الأمر الذي يحقق جملة من المزايا البيئية والاقتصادية كالحد من التراكم العشوائي للحمأة والاستفادة من محتواها المرتفع من المادة العضوية والمغذيات المختلفة، وكذلك تحسين نمو وإنتاجية الكتلة الحيوية للأنواع الحراجية سريعة النمو مما يضمن تأمين مصادر متجددة ونظيفة للطاقة كبديل للوقود الأحفوري.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأثر الناتج عن تطبيق جرعات مختلفة من حمأة الصرف الصحي الجافة على كل من النمو والكتلة الحيوية الجافة للحور الأسود *Populous nigra* المزروعة ضمن أصص بلاستيكية.

طرائق البحث ومواده:

موقع البحث (الشكل 1)

أجريت التجربة في قرية تلسنون التابعة لمحافظة طرطوس (34°40'37.4"N, 36°06'00.4"E) والتي تبعد عن مركز مدينة طرطوس حوالي 30 كم جنوباً.



الشكل (1): صورة فضائية توضّح موقع الدراسة بالنسبة لمركز محافظة طرطوس

التربة

استخدمت تربة الموقع نفسه لتشكيل أوساط النمو ضمن الأصص وتم تحليل التربة، وبينت النتائج (الجدول 1) أن التربة طينية لومية ودرجة الـ pH معتدلة مائلة إلى القلوية، كما وتتميز بناقلية كهربائية جيدة.

الجدول (1): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة الزراعة

الخصائص الفيزيائية			الخصائص الكيميائية					
طين %	رمل%	سلت%	المادة العضوية %	pH	EC ds/m	N الكلي %	Pالمتاح PPM	K المتاح PPM
56	23	21	2.37	7.95	1.48	0.12	2.37	92.68

النوع النباتي

استُخدِمت غراس بعمر أقل من عام من نبات الحور الأسود .*Populus nigra* L الذي يتبع إلى جنس الحور .*Populus* L، فصيلة Salicaceae ورتبة Salicales. حيث كان مصدر الغراس المستخدمة في التجربة مشتل الهنادي الحراجي باللاذقية بإجمالي 12 غرسة للتجربة.

الحمأة

مصدر الحمأة المستخدمة في التجربة محطة الرويمية لمعالجة مياه الصرف الصحي والتي تقع باتجاه الجنوب الشرقي لمركز مدينة اللاذقية، وتعالج هذه المحطة مياه الصرف الصحي القادمة من قرى (الظاهرية، الرامة، المشيرفة، مزار القطرية والقطرية) بطريقة التهوية المديدة.

تصميم التجربة والمعاملات

تم تنفيذ التجربة ضمن أصص بلاستيكية سميكة بسعة 16ل. تم تصميم 4 معاملات (الجدول، 2): T0 دون إضافة الحمأة، T1 (15% حمأة)، T2 (30% حمأة)، T3 (60% حمأة)، ولكل معاملة 3 مكررات بمعدل غرسة واحدة في كل أصيص حيث بلغ إجمالي عدد الأصص 12 أصيصاً. تم خلط التربة مع الحمأة وتركها ضمن الأصص لمدة أسبوعين حتى تتوازن، ثم نقلت الغراس إليها.

الجدول (2): معاملات التجربة

المعاملة	الرمز	الخلطة	
		تربة %	حمأة %
معاملة الشاهد	T0	100	0
معاملة الحمأة الأولى	T1	85	15
معاملة الحمأة الثانية	T2	70	30
معاملة الحمأة الثالثة	T3	40	60

تنفيذ التجربة

تمّ خلط التربة مع الحمأة وتركها ضمن الأصص لمدة أسبوعين حتى تتوازن. ثم نُقلَت غراس الحور إليها في بداية شهر نيسان من العام (2023). تمّت عمليات السقاية مرتين أسبوعياً وحسب الحاجة وبكميات متساوية لجميع الأصص.

القياسات والتحاليل

قيسَ ارتفاع النبات (المسافة بين مكان اتصال الساق بالجذر وأعلى نقطة في النبات) والقطر القاعدي (بالاعتماد على قياس المحيط القاعدي)باستخدام الشريط المتري كل 30 يوماً بدءاً من الزراعة وحتى موعد الحصاد بعد 7 أشهر. كما تمّ قياس وزن الكتلة الحية الرطبة لكل من المجموع الخضري والمجموع الجذري باستخدام ميزان

الكتروني. ثمّ قُدّرت نسبة الرطوبة عن طريق التجفيف في الفرن حتى ثبات الوزن على درجة حرارة 105 °م وفق المعادلة التالية:

$$\text{نسبة الرطوبة (\%)} = \frac{\text{الوزن قبل التجفيف} - \text{الوزن بعد التجفيف}}{\text{الوزن قبل التجفيف}} \times 100$$

. ومن ثمّ حُسبَ وزن الرطوبة وفق الآتي:

$$\frac{\text{الكتلة الحية الرطبة} \times \text{نسبة الرطوبة}}{100}$$

بعد ذلك تمّ تقدير الكتلة الحية الجافة لكل من المجموعين الخضري والجذري على حده وفق المعادلة الآتية: الكتلة الحية الجافة = الكتلة الحية الرطبة – وزن الرطوبة. وأخيراً تمّ تقدير الكتلة الحية الجافة الكلية وفق المعادلة الآتية: الكتلة الحية الجافة للمجموع الخضري + الكتلة الحية الجافة للمجموع الجذري.

التحليل الإحصائي

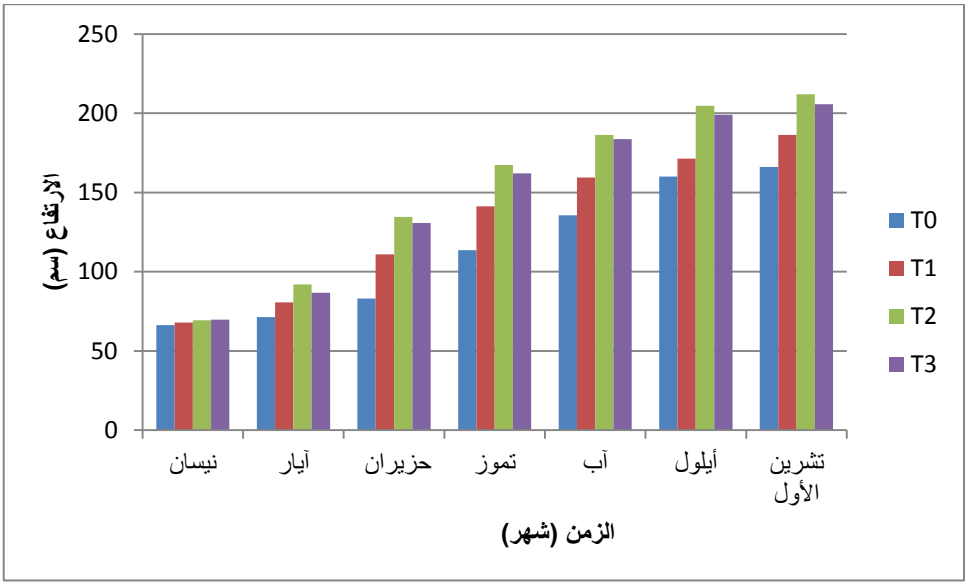
زرعت النباتات بطريقة القطاعات العشوائية الكاملة، أجري اختبار التباين أحادي العوامل مع القراءات المتكررة one-way randomized blocks with repeated measures ANOVA (Analysis of Variance) كون القيم تتأثر بالمعاملة مع الزمن، وفُصلت المتوسطات عن بعضها باستخدام اختبار أقل فرق معنوي LSD (Least Significant Difference) عند مستوى معنوية $P \leq 0.05$. استُخدِم البرنامج CoStat لإجراء التحليل الإحصائي.

النتائج والمناقشة

بعد اخذ القراءات للمؤشرات المدروسة في جميع المعاملات المدروسة وكما هو مخطط في خطة البحث حصلنا على النتائج التالية

ارتفاع الغراس

يُظهِر الشكل (2) قيماً أعلى للارتفاع في المعاملة T2 في جميع الأشهر، حيث سجلت الارتفاع كقيم متوسطة للمعاملات في شهر تشرين الأول 212، 205.67، 186، 166 سم وذلك للمعاملات T2، T3، T1 ، T0 على التوالي.



الشكل (2): متوسط ارتفاع غراس الحور الأسود في المعاملات المختلفة خلال أشهر التجربة

تظهر نتائج التحليل الإحصائي جدول (3) وجود فروق معنوية بين المعاملات المختلفة في ارتفاع الغراس فيما يتعلّق بكل من المعاملة والزمن والتفاعل بينهما ($df = 3, F = 208.679, P \leq 0.0001$ للمعاملة؛ و $df = 6, F =$ 915.518, $P \leq 0.0001$ للزمن؛ و $df = 18, F =8.069, P \leq 0.0001$ للتفاعل بينهما)، حيث لوحظ أنّ الارتفاع ازداد مع الزمن في جميع المعاملات ولكن بوتيرة أعلى في المعاملتين T2 وT3 واللتان تفوقتا معنويا على المعاملتين T1وT0 ، وبلغ مقدار الزيادة في ارتفاع النبات في معاملات الحمأة نهاية التجربة بمقدار يتراوح بين (12–27)% مقارنةً مع الشاهد.

الجدول (3): نتائج التحليل الإحصائي للارتفاع في معاملات التجربة

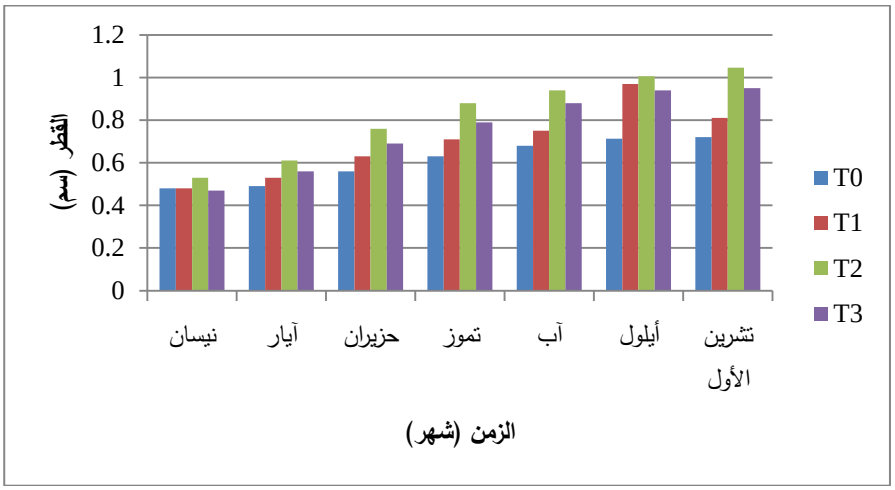
المعاملة	الارتفاع (سم)						
	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين1
T0	66.33k*	71.33jk	83ijk	113.67gh	135.67f	160e	166de
T1	68k	80.67ijk	111 h	141.33f	159.33e	171.33cde	186.33bc
T2	69.33jk	92i	134.67f	167.33de	186.33bc	204.67a	212a
T3	69.67jk	86.67ij	130.67fg	162e	183.67bcd	199ab	205.67a
LSD 5% للتفاعل	9.16						

***: الأحرف الصغيرة المختلفة ضمن الجدول تدل على وجود فروق معنوية بين المعاملات.**

ويظهر من الجدول (3) أنّ أعلى قيمة لارتفاع الغراس كانت في المعاملتين T3 وT2 في شهري أيلول وتشرين أول. تم تسجيل نتائج مشابهة لدراستنا قام بها عدد من الباحثين في ليتوانيا تهدف إلى دراسة تأثير تطبيق جرعات مختلفة من حمأة الصرف الصحي الجافة في نمو وارتفاع نبات الصفصاف *Salix viminalis* وذلك خلال موسم نمو واحد، وأظهرت النتائج ازدياداً في ارتفاع النبات في معاملات الحمأة بمقدار يتراوح بين (15–31)% مقارنةً مع معاملة الشاهد (Žaltauskaitė *et al.*, 2017).

القطر القاعدي

يبين الشكل (3) تفوّق المعاملة T2 على باقي المعاملات حيث بلغ متوسط قطر المعاملة في نهاية التجربة 0.95، 1.04، 0.81، 0.72 سم وذلك للمعاملات T2، T3، T1 ، T0 على التوالي.



الشكل (3): متوسط القطر القاعدي لغراس الحور الأسود في المعاملات المختلفة خلال أشهر التجربة

تُظهر نتائج التحليل الإحصائي (الجدول، 4) وجود فروق معنوية في قطر الساق بالنسبة لكل من المعاملات والزمن والتفاعل بينهما ($df = 3, F = 98.84, P \leq 0.0001$ للمعاملة؛ و $df = 6, F = 453.609, P \leq 0.0001$ للزمن؛ و $df = 18, F = 10.829, P \leq 0.0001$ للتفاعل بينهما)، كما لوحظ ازدياد القطر مع مرور الوقت مع تفوّق واضح للمعاملة T2.

الجدول (4): نتائج التحليل الإحصائي للقطر القاعدي في معاملات التجربة

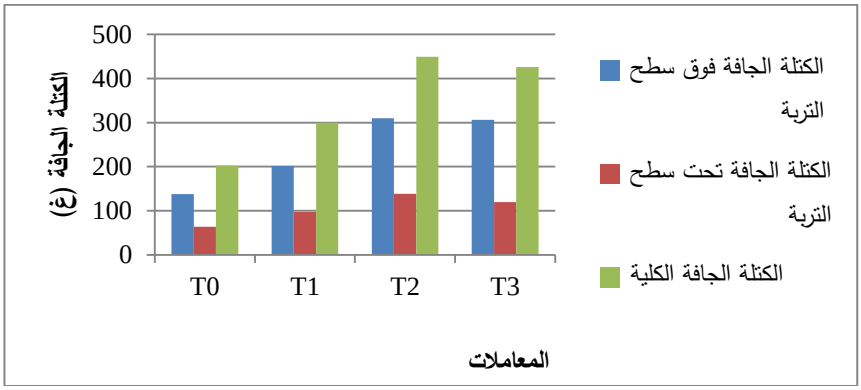
المعاملة	القطر (سم)						
	الرابع	الخامس	السادس	السابع	الثامن	التاسع	العاشر
T0	0.48 no*	0.49 no	0.56 lmn	0.63 ijkl	0.68 hijk	0.713ghij	0.72fghi
T1	0.48 no	0.53 mno	0.63 jkl	0.71 ghij	0.75fgh	0.79defg	0.81def
T2	0.53 mno	0.61 klm	0.76fgh	0.88cde	0.94bc	1.006ab	1.046a
T3	0.47 o	0.56 lmno	0.69hijk	0.79efg	0.88cd	0.94bc	0.95bc
LSD 5% للتفاعل	0.047						

***: الأحرف الصغيرة المختلفة ضمن الجدول تدل على وجود فروق معنوية بين المعاملات.**

بلغ مقدار الزيادة في القطر في معاملات الحمأة المختلفة في اليوم الأخير(بعد 7 أشهر من المعاملة) للتجربة بمقدار يتراوح بين (12–45)% مقارنةً مع الشاهد. بيّنت نتائج بحث نشر في الصين عن تأثير إضافة جرعات مختلفة من حمأة الصرف الصحي الجافة على نمو نبات *Mangifera persiciforma* مزروع ضمن أصص بلاستيكية وذلك لمدة /4/ أشهر في زيادة في نمو النبات والقطر القاعدي، إذ ازداد متوسط ارتفاع النبات من 32 سم في نباتات الشاهد إلى 56 سم في النباتات المعاملة بالحمأة بعد 120 يوماً من المعاملة، وازداد متوسط القطر القاعدي من 9.5 سم في نباتات الشاهد إلى 12.5 سم في النباتات المعاملة بالحمأة بعد نفس المدّة (Chu *et al*., 2017).

الكتلة الحيوية الجافة

يُظهر الشكل (4) نتائج الكتلة الحيوية الجافة الكلية حيث تفوقت المعاملة (T2) بمتوسط كتلة جافة كلية بلغ 448.995 غ، تلاها المعاملة (T3) و(T1) بمتوسط كتلة جافة كلية 426.02 غ و299.49 غ على التوالي بينما بلغ متوسط الكتلة الجافة الكلية لمعاملة الشاهد (T0) 202.18 غ، كما بينت نتائج الكتلة الحيوية الجافة فوق سطح التربة تفوق المعاملتين T2 وT3 معنوياً على المعاملتين T1وT0 ، وتفوق المعاملة T1 معنويا على معاملة الشاهد، كما وتفوقت المعاملة T2 تلاها معنوياً المعاملة T3 ثم كل من المعاملة T1 والشاهد من حيث الكتلة الجافة تحت سطح التربة، وفيما يتعلق بالكتلة الجافة الكلية تفوقت المعاملتين T2 وT3 على باقي المعاملات.



الشكل (4): متوسط الكتلة الجافة (غ) لغراس الحور

بيّنت نتائج التحليل الإحصائي لنتائج الكتلة الجافة للمجموع الخضري الجدول (5)وجود فروق معنوية عالية بين المعاملات المدروسة ($df = 3, F = 138.69, P \leq 0.0001$)، فتفوّقت المعاملات T2 وT3 معنوياً بمتوسط كتلة جافة للمجموع الخضري بلغ و306.19 310.1 غ على التوالي، تلاها معنوياً المعاملة T1 بمتوسط 201.94 غ، وكان الشاهد هو الأقل معنوية من حيث الكتلة الجافة فوق للمجموع الخضري. كذلك وجدت فروق معنوية في الكتلة الجافة للمجموع الجذري ($df = 3, F = 44.948, P \leq 0.0001$) بتفوّق معنوي للمعاملة T2 بقيمة بلغت 138.89 غ، تلاها معنوياً المعاملة T3 ثم كل من المعاملة T1 والشاهد بفروق معنوية بين بعضها البعض.

كذلك فيما يتعلّق بالكتلة الحيوية الجافة الكلية، وجدت فروق معنوية عالية بين المعاملات المدروسة ($df = 3, F$ =152.5657, $P \leq 0.0001$)، وتفوقت المعاملتين T2 وT3 معنوياً على باقي المعاملات.

الجدول (5): نتائج التحليل الإحصائي للكتلة الجافة في معاملات التجربة

المعاملة	المتوسط ± SE		
	الكتلة الجافة للمجموع الخضري	الكتلة الجافة للمجموع الجذري	الكتلة الجافة الكلية
T0	6.14 ± 138.229c*	2.17 ± 63.95d	8.1 ± 202.18c
T1	11.54 ± 201.94b	5.03 ± 97.55c	14.29 ± 299.49b
T2	5.03 ± 310.1a	4.82 ± 138.89a	0.94 ± 448.995a
T3	2.56 ± 306.197a	6.25 ± 119.829b	8.8 ± 426.026a
LSD 5%	23.2226	15.659	30.427

وتتوافق هذه النتائج مع نتائج دراسة أخرى أجريت في فلوريدا بهدف التعرف على الآثار المحتملة لاستخدام حمأة الصرف الصحي المتخمرة على نمو الغراس الحراجية لغراس الأوكاليبتوس *Eucalyptus grandis* مزروعة ضمن أصص بلاستيكية وذلك لمدة /8/ أسابيع، حيث تم فيها تقدير الكتلة الحيوية الجافة للمجموع الخضري و الجذري بعد حصاد النبات، والتي بينت دوراً هاماً لحمأة الصرف الصحي المتخمرة وغير المتخمرة في تحسين إنتاجية الغراس بازدياد ارتفاع النبات والقطر القاعدي والكتلة الحيوية الجافة للمجموع الخضري و الجذري (Silva *et al*., 2017).

أظهرت نتائج هذا البحث فوائد إضافة حمأة الصرف الصحي إلى تربة غراس الحور الأسود *Populous nigra* في تعزيز كل من ارتفاع النبات والقطر القاعدي والكتلة الجافة. وظهرت العديد من الدراسات فوائد إضافة حمأة الصرف الصحي إلى تربة مشاتل الأشجار الحراجية في تعزيز النمو والارتفاع والقطر القاعدي، حيث بينت نتائج دراسة أجريت في الصين لتقييم تأثير إضافة الحمأة في مزرعة الصنوبر *Pinus sylvestris* إلى أن حمأة الصرف الصحي ربما تكون سماداً عضوياً مفيداً لتحسين جودة التربة ونمو الأشجار في مزارع الصنوبر حيث عززت الحمأة نمو الصنوبر (الارتفاع، القطر القاعدي) (Bai *et al* ., 2022). تم تنفيذ بحث آخر في جمهورية التشيك عام 2016 حول تأثير تطبيق حمأة الصرف الصحي على إنتاجية الكتلة الحيوية لأصناف الحور والصفصاف لمدة 6 سنوات حيث أظهرت النتائج أن إنتاجية الكتلة الحيوية عالية في آخر سنتين من التجربة في معاملات الحمأة وبشكل أكبر في مشاجر الصفصاف (Kubatova *et al*., 2016).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

وفقاً للنتائج التي وصلت إليها الدراسة الحالية، نستنتج ما يلي:

1. لعبت الحمأة دوراً إيجابياً في زيادة ارتفاع غراس الحور الأسود خاصةً في المعاملتين T2 (30% حمأة) وT3 (60% حمأة).
2. كان للحمأة تأثيراً جيداً على ازدياد القطر القاعدي وبشكل أكثر وضوحاً في المعاملة T2.
3. أدت إضافة الحمأة إلى تحسّن ملحوظ في الكتلة الحيوية الجافة بأشكالها المختلفة الكلية والكتلة الجافة للمجموع الخضري والجذري ، حيث تفوقت المعاملتان T2 وT3 معنوياً على باقي المعاملات.

التوصيات

ضرورة إجراء العديد من البحوث والدراسات المتعلقة بالتأثيرات البيئية الأخرى لتطبيقات الحمأة وخاصةً على المعادن الثقيلة في التربة وعناصر النبات المختلفة، وعلى المياه سواء السطحية أو الجوفية.

استكمال إجراء دراسات تطبيق الحمأة وذلك على أنواع حراجية أخرى.

References:

[1] Abreu, C.H; Firme, L.P; Maldonado, C.A.B; Neto, S.P.D; Alves, M.C; Muraoka, T; Boaretto, A.E; Gava, J.L; He, Z.L; Nogueira،T.A.R. *Fertilization using sewage sludge in unfertile tropical soils increased wood production in Eucalyptus plantations*. J.Environ. Manag. 203, 2017, 51–58. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.074.

[2] Alaoui-Sossé, B; Bourioug, M; Benbrahim, M; Carnus, J.M; Clert, S; Bourgeade, P; Aleya, L. *Influence of different sludge compositions on understorey vegetation in an amended Pinus pinatser forest plantation*. Sci. Total Environ. 2018, 640–641. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.371.

[3] Al Koubaili R. Environmental impact assessment of sewage sludge on Eucalyptus trees with short forest cycles – Latakia Governorate. PhD Thesis, Tishreen University, 2017.

[4] Al Zouabi M.M.; Arslan A.; Asfure Z.; Amen Y.; Etry M.; Pejon N.; Tabbaa M. Jouzdan O. Effect of sewage sludge on heavy metals accumulation in soil and plant and crops productivity in some Syrian Governorate. The Arab Center for Study Arid Zones and Dry Lands. 2010. 1-24.

[5] Bai, Ruolin L., Lei Jin, Shurui R. Sun, Yang Cheng, and Yi Wei. "Quantification of greenhouse gas emission from wastewater treatment plants." Greenhouse Gases: Science and Technology. 2022, 12(5): 587-601.

[6] Chu, S; Wu, D; Liang, L.L; Zhong, F; Hu, Y; Hu, X; Lai, C. and Zeng, S. *Municipal Sewage sludge Compost Promotes Mangifera persiciforma Tree Growth with no Risk of Heavy Metal Contamination of Soil*. Sci Rep. 7(34): 2017: 13408. https://doi.org/10.1038/s41598-017-13895-y.

[7] Grobelak, A; Placek, A; Grosser, A; Singh, B.R; Alma°s,A ° ., Napora, A., Kacprzak, M., 2017 . Effects of single sewage sludge application on soil phytoremediation. J. Clean. Prod. 155, 189-197. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.005.

[8] Khansi, O. Contribution to the reclamation of calcareous soils using sewage sludge in Al-Mukharram area (Homs Governorate). PhD thesis, Tishreen University, 2013.

[9] Kubátová, P.; Hejcman, M.; Száková, J.; Vondráčková, S.; and Tlustoš. P. "Effects of sewage sludge application on biomass production and concentrations of Cd, Pb and Zn in

shoots of *Salix* and *Populus* clones: improvement of phytoremediation efficiency in contaminated soils." BioEnergy Research. 2016, 9: 809-819.
[10] Henry, C. L.; Cole, D.W.; HINCKLEY, T. M. and HARRISON, R. B. The Use of Municipal and Pulp and Paper Sludges to Increase Production in Forestry. Journal of Sustainable Forestry, Vol. 1, No. 3, 1993: 41–55. https://doi.org/10.1300/J091v01n03_04.
[11] Henry, C. L. and Cole, D. W. Use of Biosolids in the Forest: Technology, Economics and Regulations. Biomass and Bioenergy, Vol. 13, No. 4-5,1997: 269–277. https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10014-9.
[12] Li, X., Ke, Z., Dong, J., 2011. PCDDs and PCDFs in sewage sludge from two wastewater treatment plants in Beijing, China. Chemosphere 82, 635–638. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.039.
[13] Li, Y.S.; Sun, B.; Deng, T.Y.; Lian, P.; Chen, J.H.; Peng, X.W. Safety and efficiency of sewage sludge and garden waste compost as a 2021. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112497.
[14] Mosquera-Losada, M.R.; Rigueiro-Rodríguez, A.; Fernández-Núñez, E. Deciduous plantations established on former agricultural land in northwest of Spain as silvopastoralism: Tree growth; pasture production and vascular plant biodiversity. Catena 2018, 169. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.012.
[15] Roig, N., Sierra, J., Martı´, E., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., 2012. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: effects on soil functioning. Agric. Ecosyst. Environ. 158 (2012), 41–48. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.016.
[16] Rodriguez, D.R.O.; Andrade, G.D.; Bellote, A.F.J.; Tomazello, M. Effect of pulp and paper mill sludge on the development of-17year-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) trees in Southern Brazil. Forest Ecol. Manag. 2018, 422, 179–189. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.016.
[17] Sass, A.L.; Bassaco, M.V.M.; Motta, A.C.V.; Maeda, S.; Barbosa, J.Z.; Bognola, I.A.; Bosco, J.V.G.; Goularte, G.D.; Prior, S.A. Cellulosic industrial waste to enhance Pinus taeda nutrition and growth: A study in subtropical Brazil. Sci. For. 2020, 48, e3165. https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.13.
[18] Shahin, H. Evaluation of the Efficiency of Wetland System for Wastewater Treatment for Irrigation Purposes in the Conditions of the Syrian Coast. Tishreen University Journal-Engineering Sciences Series, 2018. 39(6).
[19] Shahin, H.; Shehada, G.; Ali, W.; Haifa, S. The effect of applying sewage sludge on chromium and copper accumulation in soil and *Eucalyptus camaldulensis* in fedio plantation (Lattakia). Tishreen University Journal-Biological Sciences Series. 2017, 39(3).
[20] Silva, M. I.; Mackowiak, C.; Minogue, P.; Reis, A.F. and Moline, E.F.V. Potential Impacts of Using Sewage Sludge Biochar on the Growth of Plant Forest Seedlings. Ciência Rural, Santa Maria, Vol. 47, No.1, 2017: 5 pages. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160064.
[21] USEPA. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. EPA/625/R-92/013, July 2003.
[22] Verlicchi P, Zambello E. Pharmaceuticals and personal care products in untreated(and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil - A critical review. Sci Total Environ 2015;538:750–67. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.108.
[23] Wang, M.H.; Xue, J.M.; Horswell, J.Q.; Kimberley, M.O.; Huang, Z.Q. Long-term biosolids application alters the composition of soil microbial groups and nutrient status in a

pine plantation. Biol. Fertil. Soils 2017, 53, 799–809. https://doi.org/10.1007/s00374-017-1219-8.

[24] World Population Data Sheet, 2018. Population Reference Bureau. Available from: https://www.prb.org/wp-content/uploads/2018/08/2018_WPDS.pdf [Accessed date: 13.5.2019.

[25] Žaltauskaitė, J.; Judeikytė, S.; Sujetovienė, G. and Dagiliūtė, R. Sewage Sludge Application Effects to First Year Willows (Salix Viminalis L.) Growth and Heavy Metal Bioaccumulation. Waste Biomass Valor, Vol. 8, 2017:1813–1818. https://doi.org/10.1007/s12649-016-9691-1.

[26] Zhao, Q.; Chu, S.S.; He, D.;Wu, D.M.; Mo, Q.F.; Zeng, S.C. Sewage sludge application alters the composition and co-occurrence pattern of the soil bacterial community in southern China forestlands. Appl. Soil Ecol. 2021, 157, 103744. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103744.