استخدام جزء من الطاقة الناتجة عن تخمر الكمبوست في زيادة كفاءة نظام الطاقة الشمسية السالب في تدفئة البيوت البلاستيكية

طوني طلب

الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، قسم بحوث الزراعات المحمية

دمشق، سورية

الملخص:

إن كفاءة نظام التدفئة الشمسية السالب للبيوت البلاستيكية المؤلف من أنابيب بولي إيثيلين شفافة مملوءة بالمياه وموضوعة على سطح التربة بين خطوط الزراعة في البيوت البلاستيكية تنخفض مع نمو النباتات نتيجة تظلله بمجموعها الخضري. لذا هدف هذا البحث إلى استخدام بقايا المزرعة لتصنيع الكمبوست والاستفادة من بعض طاقة التسبيخ لتحسين كفاءة نظام التدفئة السالب للبيوت البلاستيكية. تم ذلك بواسطة دارة مياه مغلقة بين أنابيب البولي إيثيلين والمبادلات الحرارية الموضوعة في كومات الكمبوست. وضعت كومتا الكمبوست بجانب النظام المعدل وتمت تهوية تلك الكومات قسرياً بواسطة مروحة طاردة مركزية. نُفذ البحث في محطة الغوطة لبحوث الزراعات المحمية (دمشق) لموسمين زراعيين متتاليين (2008-2009، 2009-2010) في بيت بلاستيكي مدفأ فقط بالنظام السالب (شاهد أو الكنترول) والنظام المعدل الذي استفاد من جزء من طاقة الكمبوست (المعاملة). كان الموسم الأول كتجربة تمهيدية لاختبار النظام حيث سجلت قراءات الإنتاجية وحرارة الكمبوست ونوعيته واعتبرت كنتائج أولية. تمت زراعة البيت البلاستيكي بمحصول البندورة المخصص للزراعة المحمية خلال الموسمين. أوضحت النتائج تحسن كفاءة نظام التدفئة الشمسية السالب بسبب انتقال جزء من حرارة الكمبوست إلى مياه أنابيب نظام التدفئة الشمسية السالب عند ضخ المياه الموجودة فيها بواسطة مضخة كهربائية رُكِبت على كل أنبوب عبر أنابيب بلاستيكية بولي إيثيلين تم عزلها بشكل جيد إلى المبادلات الحرارية والعودة إليها. أدى ذلك إلى رفع درجة حرارة الماء العظمى والدنيا ضمن الأنابيب بمتوسط قدره 1.3°م و1.1°م على التوالي مقارنة مع الشاهد وبفروق معنوية عند مستوى 5٪. كما أدى إلى رفع حرارة التربة العظمى والدنيا بمتوسط قدره 0.8°م و0.5°م على التوالي وحرارة الهواء الدنيا بمتوسط

قدره 0.8°م مقارنة مع الشاهد خلال الموسم 2009-2010. إن إنتاجية البندورة ارتفعت بمقدار 26 و23٪ في الموسمين الأول والثاني على التوالي مقارنة مع الشاهد حيث كانت الفروق معنوية بالموسم الثاني بمعظم القطفات. هذا وتم الحصول على كمبوست بطريقة التخمر الهوائي بالتهوية القسرية ضمن المواصفات القياسية المرغوبة، كما أن النظام ذو جدوى اقتصادية.

الكلمات المفتاحية: إنتاجية بندورة، تسبيخ، حرارة، زراعة محمية، طاقة شمسية، مبادلات حرارية.

المقدمة:

تطورت الزراعة المحمية عالمياً من حيث المساحة والتقانات المستخدمة فيها خلال العقود الأخيرة لتلبية حاجة المستهلك من بعض المنتجات الزراعية على مدار العام لما لها من ميزات بسبب التحكم الكلي أو الجزئي بالبيئة المحيطة بالنباتات (تدفئه، تهوية، تبريد، إضاءة، تظليل، رطوبة نسبية للهواء، تغذية، وقاية، إلخ) والذي أسهم في التحكم بمواعيد الإنتاج ونوعيته إضافة إلى زيادة الإنتاجية، إلا أن التحكم بالبيئة يتطلب وجود رأس مال كافٍ لدى المزارعين. لذا لجأ العديد من الباحثين لإجراء أبحاث عديدة لتخفيض بعض تكاليف هذا النمط من الزراعة كتحديد مواعيد الزارعة وأبحاث حول الطاقة المستخدمة بالتدفئة، والتهوية، والتبريد، وتغيير نظام الري السطحي إلى استخدام نظام الري بالتنقيط. ونظراً لأن التدفئة كانت العامل الأكبر بالتكلفة المضافة، فقد أجري العديد من الأبحاث في هذا المجال ومن أهمها استخدام الطاقات المتجددة كالطاقة الشمسية، والمياه الدافئة، والتغطية بعدة طبقات، واستخدام الستائر، وتدفئة التربة إلخ. وكان من أبسطها نظام التدفئة بالطاقة الشمسية السالب (Mougou, and Verlodt, 1990) الذي اختبر فيه العديد من المواد (PE, EVA, PVC) والألوان والأحجام في الكثير من دول البحر الأبيض المتوسط ووجد أن أفضل المواد وأرخصها هي مادة البولي إيثيلين (Grafiadellis *et al.* 1990) وأن الأنابيب عديمة اللون هي أفضلها بتجميع الطاقة (Prados *et al.* 1985). تنخفض كفاءة نظام التدفئة الشمسية السالب باستخدام أنابيب البولي إيثيلين الممتلئة بالمياه مع

نمو النباتات التي تظللها حيث تؤدي إلى انخفاض في الطاقة المجمعة بمقدار يصل إلى 50٪، وبالتالي كان لابد من إيجاد وسيلة لرفع كفاءته. لذلك تم إجراء العديد من التجارب لرفع كفاءة هذه الطريقة حيث تم استخدام العديد من الألوان من قبل (Taieb and Grafiadellis, 1993) اللذين وجدا أن تلوين الماء ضمن الأنابيب باللون الأسود أكريليك يحسن من امتصاص الطاقة إضافة إلى تحديد أقطار تلك الأنابيب المناسبة وكميات المياه فيها بـ 0.465 م أي ما يعادل 60 ل ماء لكل 1م^2 من مساحة البيت البلاستيكي (طلب، 1998 وطلب، 2000-2003). كما قامت Antunes (1993) بإزالة 3 و 6 و 9 أوراق من كل نبات من نباتات البندورة المزروعة مع تلوين المياه باللون الأسود ووجدت أنه لا توجد فروق معنوية لتلك المعاملات مقارنة مع الشاهد. كما وجد Talab and Olympios (1994) أن إزالة أوراق محصول البندورة هي طريقة ليست عملية.

درس عدد من الباحثين استخدام الطاقة الناتجة عن عملية التسبيخ للكمبوست في البيوت البلاستيكية. استخدم كل من Pain and Pain (1972) و Schuchardt (1984) نشارة (رقائق) الخشب في إنتاج الكمبوست واستخدمت الطاقة الناتجة عنه في تدفئة البيوت البلاستيكية حيث وضعت أنابيب بولي إيثيلين أو PVC ضمن كومات الكمبوست الكبيرة وتم تدوير الماء خلالها بواسطة مضخة والعودة بها لتدفئة التربة. وجد Schuchardt (1984) أن معدل الطاقة المتحصل عليها كان 111 ك واط/م^3 (أي 4*108 جول/م^3) خلال فترة ستة أشهر مع المحافظة على درجة حرارة مياه 30-40م°. كما حصل الباحثان Vemmelund and Berthelsen (1979) على 550 ك كالوري/م^3 عند تسبيخ روث بقر المزرعة ضمن مستوعب مع التحريك الميكانيكي والتهوية القسرية. كما وجد Pain and Pain (1972) أنه يمكن تدفئة البيت البلاستيكي مساحة 100م^2 لمدة ستة أشهر بكمية 50 طن من الكمبوست حيث تدخل المياه بحرارة 10م° وتخرج بدرجة 60م°. وبتجارب في الولايات الأمريكية المتحدة تم استخدام حرارة الكمبوست (الذي وضع ضمن مستوعب (غرفة) معزول حرارياً)، وثاني أكسيد الكربون المنبعثين أثناء التخمر في تحسين الإنتاج وخفض تكلفة الطاقة

(Fulford, 1986). في تلك التجارب استخدمت التهوية القسرية من أجل تسريع التسبيخ والتخلص من قلب الكومات، أما نظام نقل الطاقة فكان بواسطة سحب بخار الماء المتشكل بقمة غرفة الكمبوست وضخها عبر أنابيب مثقبة أمام وسط النمو الذي وضع فوق غرفة الكمبوست مباشرة حيث أشار إلى أن انتقال الطاقة يكون بفعالية لأن بخار الماء يتكاثف مطلقاً الحرارة الكامنة إلى السطوح التي يتكاثف عليها. كما أن Tucker (2006) استثمر الطاقة الناجمة عن تخمر سماد الحيوانات وبقايا المزرعة لتدفئة الماء. إن إنتاج الطاقة من الكمبوست ناجم عن أكسدة الكربون الموجود بالكمبوست بواسطة البكتيريا حيث يجب توفر كمية كافية من الكربون والنيتروجين والأكسجين والماء من أجل حدوث التسبيخ بسرعة.

هدف هذا البحث للاستفادة من بقايا بعض المواد العضوية الموجودة في المزارع (بقايا حصاد– بقايا نباتات– بقايا تقليم– أسمدة عضوية– إلخ) للحصول على جزء من الحرارة الناتجة عن عملية التحلل العضوي (التسبيخ) واستخدامها في رفع كفاءة نظام الطاقة الشمسية السالب عند انخفاض كفاءته وبالتالي تحسين حرارة الهواء والتربة ضمن البيوت البلاستيكية وتحسين نمو محاصيل الزراعات المحمية إضافة إلى تصنيع الكمبوست العضوي المحلي الذي يعمل على إغناء الأراضي المزروعة بالمادة العضوية المتخمرة.

المواد وطرق العمل:

أُجري البحث في مركز بحوث ريف دمشق (محطة الغوطة للزراعة المحمية) لموسمين؛ في الموسم الأول 2008-2009 كتجربة تمهيدية وبالموسم الثاني 2009-2010 للتأكد من النتائج حيث استخدم بيت بلاستيكي مغطى برقائق بولي إيثيلين سماكة 0.23 مم وتم تقسيم البيت البلاستيكي وأبعاده هي (50م – 8.3م – 3.2م) إلى قسمين متساويين (معاملة – شاهد) بواسطة طبقتي ستريوبور (بولي ستيرين) سماكة 0.03م وطبقتي بولي إيثيلين 0.23 مم على كامل المساحة الفاصلة بين القسمين لعزلهما عن بعضهما بشكل جيد. تمت التهوية بواسطة مروحة سحب للهواء جانبية (ذات استطاعة

32000 م^3/ساعة) في كل قسم والتي يتحكم في كل منها ترموستات إيطالي نوع (IMIT) وضع على درجة تحكم مماثلة في كلا القسمين.

استخدم نظام التدفئة الشمسية السالب في كلا المعاملتين (المعاملة – الشاهد) مع تعديله بالمعاملة.

1. نظام التدفئة الشمسية السالب (الشاهد) يتألف من:

- أربعة أنابيب بولي إيثيلين شفاف وُضِعت على سطح التربة بمعدل أنبوب واحد بين كل خطي زراعة مزدوجين وذات قطر 0.465م وسماكة 0.15 مم (15-^{5}م). وُضِع تحتها طبقة بولي إيثيلين سوداء ذات سماكة 0.06مم ومُلئ كلّ منها بواسطة مضخة كهربائية بكمية 3000 لتر ماء (معدل 60 لتر/م^2) ووضِع فيها 0.15 كغ من مركب كبريتات النحاس (40 جزء بالمليون) لمنع نمو الطحالب بالماء. تمت التدفئة في الشاهد فقط بنظام التدفئة الشمسية السالب (شكل 1).

شكل (1) : نظام الطاقة الشمسية السالب منظراً عام لطريقة الزراعة وأماكن موازين حرارة الهواء

2. نظام التدفئة المعدل يتألف من:

أ- نظام التدفئة بالطاقة الشمسية السالب.

كومتا كمبوست وُضِعتا خارج البيت البلاستيكي على بعد حوالي 1.5 م منه لتسهيل العمل وتقليل الفقد الحراري حيث تم تنفيذ حفرتين عمق كل منها 1 م وعرض 1.3 م وطول 3 م تم عزلها من الجوانب بواسطة طبقة ستريوبور (بولي ستيرين) سماكة 0.01 م وطبقة بولي إيثيلين سماكة 0.23 مم من الجوانب. حيث تم تحديد كمية الكمبوست اللازمة بما يتوافق مع Pain and Pain (1972) وبحسب كمية الحرارة المتوقع الحصول عليها من الكمبوست (حددت الكمية بـ 10٪). تشير الدراسات المرجعية إلى أفضل الشروط لتسريع عملية التسبيخ للمواد الداخلة في عملية التسبيخ الهوائي بأن تكون نسبة الكربون إلى النيتروجين من 20-40 كربون إلى نسبة 1 نيتروجين والحموضة (pH) من 5.5 إلى 9. وحيث إن هذه النسبة في روث البقر الطازج تساوي إلى 15: 1 وبقايا فرم اللوزيات هي 1:92 جدول (1) فقد استخدمت نسبة 1 من بقايا فرم اللوزيات إلى 2 روث بقر طازج أي 1:40 بحيث تحقق مادة كربونية أعلى لاستمرار عملية التسبيخ لفترة أطول (2 م^3 من بقايا الفرم وحوالي 4 م^3 من السماد البلدي في كل كومة من كومات الكمبوست). تم وضع 5 طبقات متناوبة من بقايا التقليم المفرومة والمادة العضوية المتخمرة لكل منها وبسماكة حوالي 0.15 م وأُجري ضغط خفيف عليها ثم غطي السطح بطبقة تراب خفيفة ثم بطبقة بولي إيثيلين سماكة 0.23مم وثبتت بشكل جيد من الأطراف من أجل عزلها عن العوامل الخارجية (أمطار رياح إلخ) بينما وضع أنبوبان بلاستيكيان فيهما كفتحات تهوية لخروج الغازات منها قسرياً عند عمل المروحة الطاردة المركزية (شكل 2).

جدول (1)

تحليل عينات بقايا تقليم اللوزيات قبل وضعها في كومات الكمبوست

البيان	N %	C %	C/N
بقايا تقليم لوزيات	0.47	43.3	92.12

شكل (2) : كومة الكمبوست وميزان الحرارة والترموستات وفتحات التهوية

ب- دارة للمياه (دارة لكل أنبوب) تتألف كل دارة من:

- مضخة مياه صغيرة استطاعة 0.5 حصان (0.373 ك واط/ساعة) ذات استطاعة ضخ 2م3 ماء/ساعة مربوطة على ترموستات.
- مبادلان حراريان لكل كومة من الكمبوست، حيث تم وضع مبادلي حرارة في كل كومة الأول على ارتفاع # 0.35م والثاني على ارتفاع # 0.75م. يتألف المبادل من موزع رئيسي قطره 0.075م له ثمانية مداخل ومخارج وضع عليها أنابيب بلاستيكية (بولي إيثيلين) في العام الأول قطر الخط 0.02م وطول حوالي 2.25م وبدلت بستة أنابيب معدنية (حديد مغلفن) في العام الثاني بقطر 0.019م ومُجمِّع بنفس القطر (شكل 3 وشكل 4) لتحسين التبادل الحراري وتلافي مشاكل رشح المياه.

شكل (3) : المبادلات البلاستيكية في العام الأول

شكل (4) : المبادلات معدنية في العام الثاني

- أنابيب بولي إيثيلين سوداء ذات قطر 0.02م لنقل الماء من أنابيب نظام التدفئة إلى المبادل وإعادته من المبادل إلى بداية أنابيب المياه. كما تم عزل تلك الأنابيب بشكل جيد خارج البيت حيث لفت عدة طبقات بواسطة خيش ثم بواسطة رقائق بلاستيكية (للمسافة الخارجية بين البيت والكومة).

ج- مروحة طاردة مركزية استطاعة 1.5 حصان (1.119 ك واط/ساعة)، لتهوية كومتي الكمبوست تعمل بواسطة مؤقت زمني، ذات أربعة مخارج القطر الداخلي

لكل منها 0.03م (القطر الخارجي 0.034م) وركب علها 4 أنابيب بلاستيكية بقطر 0.035م بحيث وضع أنبوبي تهوية مثقبان في أسفل كل كومة وعلى امتدادها (المسافة بين ثقب وآخر 0.1م وقطر الثقب 0.4 سم) والتي تعمل على تزويد الكومات بالهواء من أجل ضمان عملية التسبيخ الهوائي.

د- طريقة عمل نظام الطاقة المعدل: تضخ المياه الموجودة في أنابيب البولي إيثيلين عديمة اللون المملوءة بالمياه والموضوعة بين خطوط الزراعة بواسطة مضخة صغيرة مركبة في نهاية كل أنبوب مياه وبمعدل ضخ 2م3/ساعة إلى المبادلات الحرارية الموضوعة في كومات الكمبوست ثم تعود بالمياه إلى بداية الأنبوب مشكلةً دارة مغلقة للمياه (شكل 5). خلال تلك العملية تتم الاستفادة من جزء من حرارة الكمبوست المنبعثة أثناء عملية التخمر الهوائي بواسطة التبادل الحراري الذي يحدث من خلال المبادلات الحرارية الموضوعة ضمن الكومة حيث إن المياه ذات الحرارة الأدنى والتي تمر من خلالها تكتسب جزءا من الطاقة وتعود بها إلى مياه أنابيب البولي إيثيلين عديمة اللون المملوءة بالمياه. تم التحكم بعمل دارة المياه المغلقة بواسطة ترموستات مربوط إلى حساس موضوع في كومة الكمبوست عند وصول حرارة الكمبوست إلى درجة الحرارة المثبتة عليه حيث ثُبتت الحرارة على درجة أقل بـ 1- 2°م من درجة حرارة الكومة بعد ارتفاع حرارة الكومة إلى ما فوق 35°م. أما تهوية الكومات فتم من خلال الأنابيب المثقبة الموصولة إلى مروحة الهواء والتي عملت بواسطة مؤقت بمعدل 6 دقائق كل 6 ساعات يومياً بحسب Fulford (1986) بحيث تحقق تبديل هواء كومة الكمبوست بمعدل تهوية حوالي 60م^3/م^3/يوم (Shen *et al.*, 2011).

شكل (5) : يبين أنابيب المياه ومضخات المياه ودارة المياه ومضخة الهواء الطاردة المركزية

3. موعد الزراعة:

زُرِعت كِلتا المعاملتين بمحصول البندورة المخصصة للزراعة المحمية كعروة ربيعية بالوقت ذاته كما قدمت جميع الخدمات الزراعية المناسبة خلال موسم النمو.

- **الموسم الأول**: تمت زراعة البيت الذي قُسِم إلى قسمين متساويين بالوقت ذاته والمحصول عينه ببذور بندورة هجين مخصصة للزراعة المحمية F1 Zanoubia للشركة Syngenta S and G بعروة ربيعية حيث زرعت البذور بتاريخ 2009/1/22 ونقلت الشتول إلى الأرض الدائمة في 2009/3/5.
- **الموسم الثاني**: تمت زراعة بذور بندورة هجين مخصصة للزراعة المحمية Zara F1 لشركة AgroGene بتاريخ 2010/2/11 ونقلت الشتول للأرض الدائمة بتاريخ 2010/3/14.

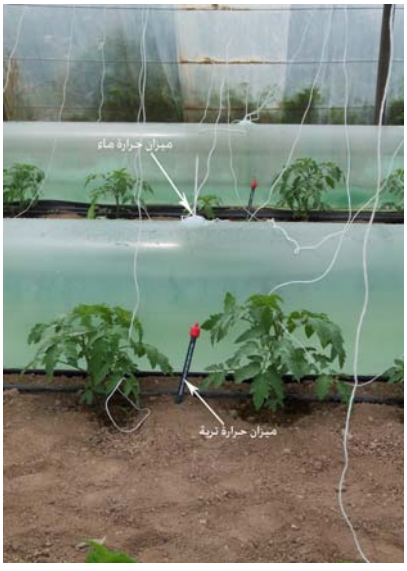
تمت زراعة النباتات على خطوط مزدوجة والمسافة بين النباتات 0.4م وبين الخطوط 0.8م وتم حساب إنتاجية المتر المربع بكل خط ولكل قطفة.

4. القراءات المأخوذة:

- حرارة التربة بميزان حرارة كحولي بدقة 0.1م° بجانب كل خط مزدوج يومياً على عمق 0.1م صباحاً الساعة 8:00 (الصغرى)، بعد الظهر الساعة 14:30 (العظمى) في كل مكرر (شكل 6).

- حرارة الماء بميزان حرارة كحولي بدقة 0.1م° يومياً صباحاً الساعة 8:00 (الصغرى)، بعد الظهر الساعة 14:30 (العظمى) في كل مكرر (شكل 5).
- حرارة الهواء بميزان حرارة (عظمى – صغرى) كحولي بدقة 0.1م° في كل مكرر.
- حرارة الكومة بميزان حرارة كحولي بدقة 0.1 م° عدد 1 لكل كومة ثم وضع ميزان رقمي آخر (ديجيتال Mod. HI-145-20, Italian) بدقة 0.1م° للتأكد من القراءات.
- إنتاجية نباتات البندورة تؤخذ مرتين أسبوعياً على الأقل وتم حساب إنتاجية المتر المربع بكل خط ولكل قطفة.
- مواصفات الكمبوست الكيميائية.

في الموسم الأول تم اختبار النظام المعدل والدارة حيث أخذت درجات حرارة الكمبوست وإنتاجية محصول البندورة ومواصفات الكمبوست الكيميائية وتمت مقارنتها مع الشاهد (الكونترول) بينما تم أخذ جميع القراءات آنفة الذكر خلال الموسم الثاني.



شكل (6) : موازين حرارة التربة والماء المثبتة في وسط أنابيب المياه وبجانبها

5. تصميم التجارب:

تألفت من شاهد (نظام التدفئة السالب) والمعاملة (النظام المعدل) في كل منهما تم اعتبار قراءة حرارة المياه بكل أنبوب مكرر (4 مكررات) وحرارة التربة بجانب كل أنبوب مكرر (4 مكررات) وحرارة الهواء فوق كل أنبوب ماء مكرر (4 مكررات) واعتبر كل خط زراعة مكرر (8 مكررات) وحُسِبت إنتاجية المتر المربع بحسب كل قطفة. تم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام GENSTAT (تحليل التباين).

النتائج والمناقشة:

1. نتائج الموسم 2008-2009:

- **تكون الكمبوست**: بالرغم من ارتفاع حرارة الكومات ووصول التخمر إلى مرحلة مقبولة بحسب نتائج التحليل في الكومة الجنوبية (جدول 2) إلا أن الكمبوست لم يكن متجانساً بنهاية الموسم نظراً لعدم فرم نتائج التقليم بشكل جيد.

جدول (2)

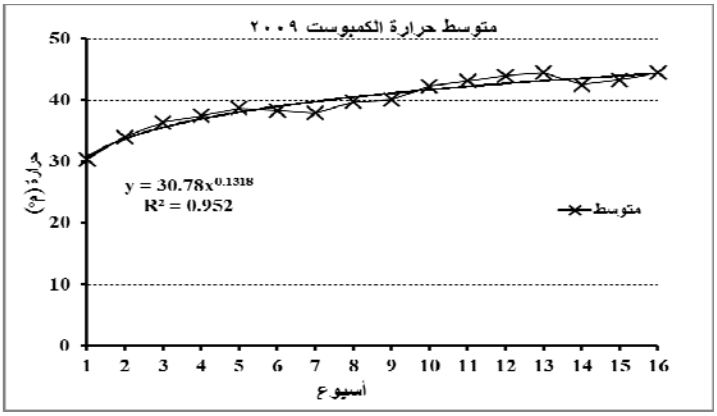
نتائج تحليل كومتي الكمبوست التي أجريت

بمخبر إدارة بحوث الموارد الطبيعية بدوما (2009)

كومة	(pH) الحموضة 1:10	(EC) الناقلية الكهربائية 1:10	N %	C %	C/N	P2O5 %	K2O %
ش 1	7.60	3.67	2.32	25.50	11.0	1.80	1.64
ش 2	7.65	3.21	2.45	26.67	10.9	1.06	1.03
متوسط	7.63	3.44	2.39	26.09	10.94	1.43	1.34
ج 1	7.63	2.19	1.82	21.06	11.6	0.97	1.22
ج 2	7.55	2.36	1.62	20.09	12.4	0.87	1.21
متوسط	7.59	2.28	1.72	20.58	11.96	0.92	1.22

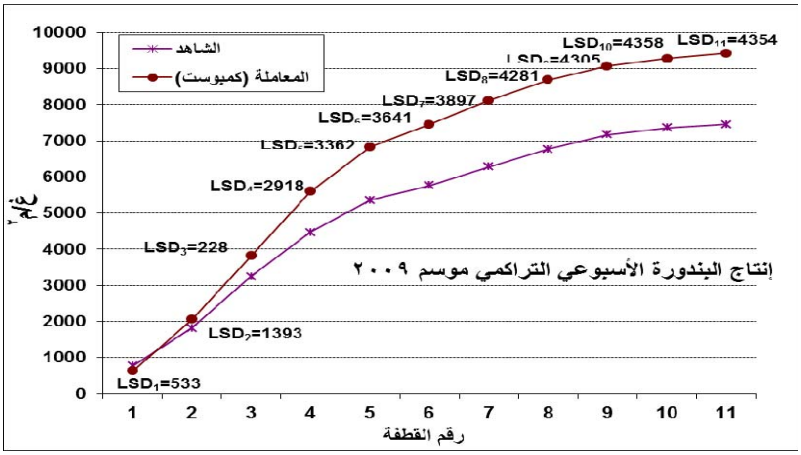
ش: كومة شمالية، ج: كومة جنوبية.

- **النتائج الحرارية**: بدء جمع البيانات الحرارية لكومتي الكمبوست منذ 2009/3/29 وحتى 2009/7/22 ومُثلت متوسطاتها (شكل 7).



شكل (7) : متوسط حرارة الكمبوست أسبوعيا خلال الموسم 2009-2008 بدءًا من 29/3/2009

- **الإنتاجية:** بدء الإنتاج ابتداءً من 2009/6/4 والشكل (8) الموجود أدناه يبين وجود زيادة بالإنتاجية تقدر بـ 26٪ مقارنة مع الشاهد ولكن دون فروق معنوية (مستوى 5٪). لذلك تم إعادة التجربة للموسم الثاني للتأكيد والإقران بكامل النتائج الحرارية، والإنتاجية ونوعية الكمبوست.



شكل (8) : إنتاجية البندورة في كلتا المعاملتين للموسم 2008- 2009.

2. نتائج الموسم 2010-2009:

- **تكون الكمبوست:** تم إجراء تحليل للكمبوست بنهاية موسم القطاف مباشرة والجدول التالي (3) يبين نتائج التحليل التي أجريت بمخبر إدارة بحوث الموارد الطبيعية.

جدول (3)

نتائج تحليل كومتي الكمبوست التي أجريت بمخبر إدارة بحوث الموارد الطبيعية بدوما

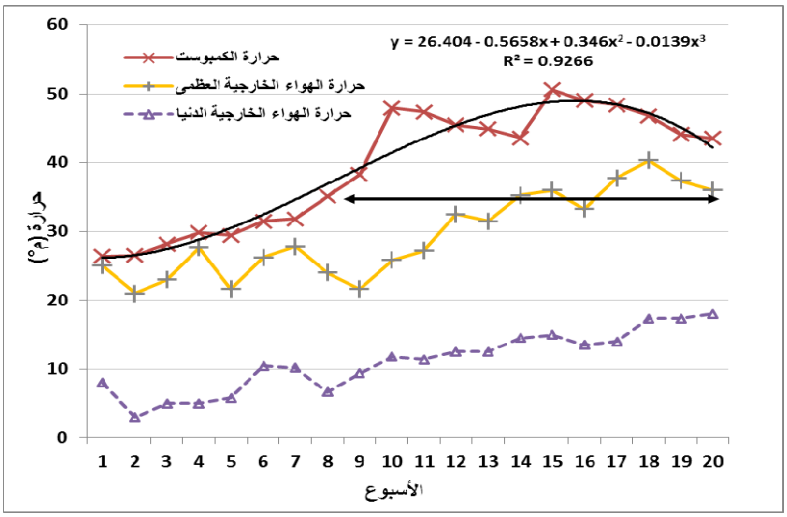
كومة	pH 1:10	EC 1:10	N %	P2O5%	K2O %	المادة العضوية %	C %	Na mg/l	الرطوبة %	Fe mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	C/N
ش1	8.68	2.13	2.67	0.8	0.88	62.99	36.5	0.22	67.33	4166	666	130	364	13.7
ش2	8.49	2.14	2.26	0.87	1.19	53.74	31.2	0.21	63.21	6423	694	110	416	13.8
ج1	7.76	2.11	2.15	0.25	0.52	48.72	28.3	0.20	58.38	4560	785	75	427	13.1
ج2	7.7	2.18	2.1	0.61	0.94	45.66	26.5	0.20	49.06	2767	580	38	250	12.6
متوسط	8.16	2.14	2.3	0.63	0.88	52.78	30.6	0.21	59	4479	681	88	544	13.3

ش: كومة شمالية، ج: كومة جنوبية.

تبين النتائج السابقة أن الكمبوست كان في المرحلة الأخيرة من التخمر وضمن المواصفات المقبولة للكومتين من حيث نسبة C/N والحموضة والفسفور والبوتاسيوم والرطوبة بحسب المواصفات القياسية (Brinton, 2000) و(Cooperband, 2002).

النتائج الحرارية:

حرارة الكمبوست: بقيت حرارة الكمبوست شبه ثابتة خلال الأسابيع الثلاثة الأولى حيث بدأت بعدها حرارة الكمبوست بالارتفاع تدريجياً خلال الأسابيع الستة التالية نتيجة عملية التسبيخ إلى أن وصلت إلى حوالي خمسين درجة مئوية وبقيت تتراوح بين الخمسة والأربعين والخمسين 11 أسبوعاً (شكل 9). وكان الخط البياني متعدد الحدود أفضلها لكون الجذر التربيعي $R^2 = 0.9266$ ومثلتها العلاقة الرياضية التالية من الدرجة الثالثة.



شكل (9) متوسط حرارة الكمبوست أسبوعيا خلال الموسم 2009-2010 بدءًا من 2010/3/20

إن عدم ارتفاع درجة الحرارة إلى مستويات أعلى من خمسين درجة مئوية قد يعود إلى التبريد الحاصل للكمبوست من خلال المبادلات الحرارية نتيجة دوران المياه بالدارة حيث بلغ عدد ساعات عمل المضخات 1092 ساعة/ 4 مضخات/ 12 أسبوع.

حرارة الماء، التربة والهواء: إن دارة الماء بدأت بالعمل منذ الأسبوع الثامن وبشكل عام لم تُلاحظ فروق معنوية قبل ذلك التاريخ بحرارة الماء والتربة والهواء (جداول 3، 4 و5) وفيما يلي النتائج لكل منها:

1. **حرارة الماء:** تراوح ارتفاع المتوسط الأسبوعي لحرارة الماء الدنيا والعظمى من 0.5-1.6 °م و 0.4-2.1 °م على التوالي مقارنة مع الشاهد (جدول 4) وكانت الفروق معنوية بشكل عام بمتوسط حرارة الماء العظمى (خلال 10 أسابيع من 13 أسبوع) بينما كانت الفروق معنوية من الأسبوع الرابع عشر فما بعد بالنسبة للمتوسط الأسبوعي لحرارة الماء الصغرى، هذا وكان متوسط الزيادة الأسبوعي لحرارة الماء الدنيا والعظمى هو1.1° و1.3°م على التوالي.

جدول (4)

المتوسط الأسبوعي لحرارة الماء الدنيا والعظمى خلال الموسم 2009- 2010

بدءًا من 2010/3/20

الأسبوع	حرارة الماء العظمى شاهد	حرارة الماء العظمى المعاملة	LSD	CV	حرارة الماء الدنيا شاهد	حرارة الماء الدنيا المعاملة	LSD	CV
1	28.3	29.5	1.40	2.2	23.6	24.8	0.65	1.2
2	25.6	25.5	2.35	4.1	21.2	21.4	1.90	4.0
3	26.6	25.8	1.60	2.7	21.7	21.8	0.86	1.7
4	27.6	27.4	1.55	2.5	23.6	24.1	1.06	2.0
5	25.9	25.9	1.10	1.9	22.4	23.3	1.38	2.7
6	25.8	25.3	0.88	1.5	23.6	23.4	1.75	3.3
7	24.4	24.3	1.07	2.0	22.3	22.2	1.46	2.9
8	23.3	23.7	0.76	1.4	20.6	21.4	1.32	2.8
9	24.9	25.5	1.00	1.8	22.9	23.5	1.43	2.7
10	23.9	❖ 25.2	0.78	1.4	22.7	❖ 23.8	0.38	0.7
11	21.8	❖ 22.9	0.61	1.2	20.3	21.2	1.14	2.4
12	23.7	❖ 24.6	0.72	1.3	22.9	23.4	1.18	2.3
13	23.8	❖ 24.8	0.89	1.6	22.7	23.6	0.87	1.7
14	23.5	❖ 25.4	0.56	1.0	22.7	❖ 24.2	1.20	2.3
15	25.0	26.2	2.03	3.5	23.6	❖ 25.2	1.35	2.5
16	23.4	❖ 24.9	0.89	1.6	22.7	❖ 23.8	0.93	1.8
17	24.5	❖ 25.5	0.38	0.7	23.2	❖ 24.5	0.98	1.8
18	25.4	❖ 27.3	1.28	2.2	24.6	❖ 25.7	0.53	0.9
19	25.1	❖ 27.2	0.62	1.0	24.5	❖ 25.9	0.20	0.4
20	24.8	❖ 26.6	0.66	1.1	24.2	❖ 25.2	0.67	1.2

الإشارة (❖) تدل على وجود فروق معنوية بين المعاملات (مستوى 5٪).

2. **حرارة التربة:** تراوح ارتفاع المتوسط الأسبوعي لحرارة التربة الدنيا والعظمى بمقدار 1.1-0.1 °م و1.1-0.4 °م على التوالي مقارنة مع الشاهد وكان متوسط الزيادة 0.5 و0.8 °م للحرارة الأسبوعية الدنيا والعظمى للتربة على التوالي إلا أن تلك الفروق لم تكن معنوية (جدول 5).

جدول (5)

المتوسط الأسبوعي لحرارة التربة الدنيا والعظمى خلال الموسم 2009-2010

بدءًا من 2010/3/20

الأسبوع	حرارة التربة العظمى شاهد	حرارة التربة العظمى المعاملة	LSD	CV	حرارة التربة الدنيا شاهد	حرارة التربة الدنيا المعاملة	LSD	CV
1	24.1	25.7	2.3	4.1	20.2	20.8	1.65	3.6
2	21.2	21.2	1.6	3.4	17.1	18.5	2.56	6.4
3	21.7	22.6	1.1	2.2	19.2	19.4	1.26	2.9
4	22.7	22.5	2.8	5.4	20.7	20.4	1.84	4.0
5	21.6	22.0	1.9	3.9	20.1	20.3	1.66	3.6
6	21.8	22.7	2.0	4.1	20.8	20.9	1.92	4.1
7	22.0	21.5	0.9	1.8	20.0	19.9	1.67	3.7
8	20.3	20.9	1.6	3.4	19.3	19.4	1.61	3.7
9	21.8	22.3	1.0	2.1	20.9	21.1	1.11	2.4
10	21.6	22.5	0.6	1.2	21.1	21.5	1.11	2.3
11	20.2	20.6	1.6	3.4	19.0	19.4	1.55	3.6
12	21.4	21.9	1.3	2.7	20.5	20.8	1.55	3.3
13	21.2	22.1	1.3	2.6	20.6	21.0	1.63	3.5
14	21.7	22.6	1.2	2.4	20.7	21.1	1.20	2.6
15	22.3	23.1	1.5	2.9	21.5	21.8	2.32	4.8
16	21.5	22.4	1.1	2.2	20.7	21.3	1.84	3.9
17	22.5	23.3	1.7	3.2	21.3	21.9	1.88	3.9
18	23.4	24.3	1.7	3.2	22.3	23.1	1.58	3.1
19	23.6	24.4	1.6	2.9	22.5	23.4	1.63	3.2
20	23.4	24.5	1.5	2.8	22.3	23.4	1.14	2.2

3. **حرارة الهواء:** تراوحت الزيادة بالمتوسط الأسبوعي لدرجة حرارة الهواء الدنيا بين 0.25 و1.2 °م (جدول 6) وبمتوسط قدره 0.8 °م مقارنة مع الشاهد وكانت الفروق معنوية بمعظمها بينما لم توجد فروق معنوية بشكل عام بالنسبة للمتوسط الأسبوعي لدرجة حرارة الهواء العظمى.

جدول (6)

المتوسط الأسبوعي لحرارة الهواء الدنيا والعظمى خلال الموسم 2009-2010

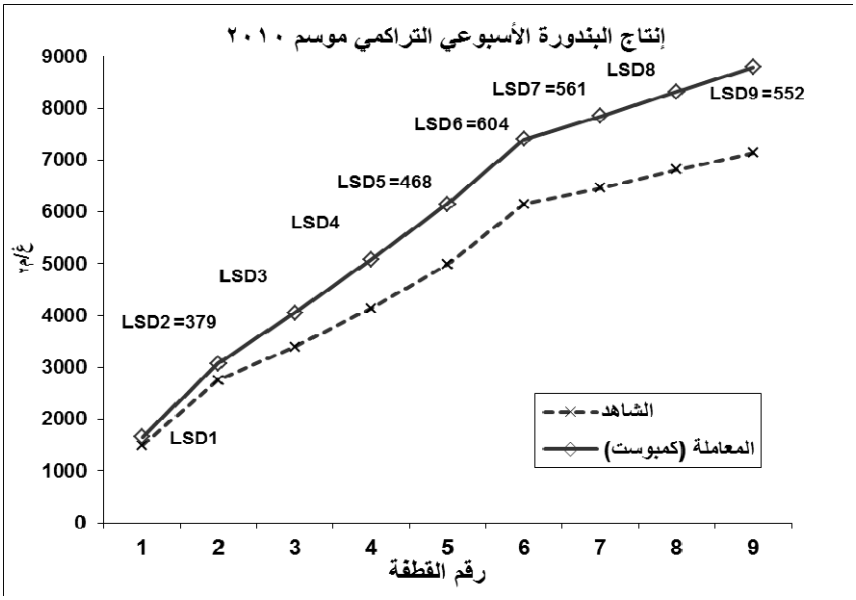
بدءًا من 2010/3/20

الأسبوع	حرارة الهواء العظمى شاهد	حرارة الهواء العظمى المعاملة	LSD	CV	حرارة الهواء الدنيا شاهد	حرارة الهواء الدنيا المعاملة	LSD	CV
1	34.9	-						
2	35.0	-						
3	27.3	-						
4	32.1	31.1	5.6	7.9	10.0	7.6	3.0	15.1
5	28.6	26.4	4.8	7.8	10.6	10.5	3.5	14.5
6	29.6	26.6	8.3	13.1	12.3	12.0	1.3	4.6
7	28.8	27.0	1.7	2.8	12.2	11.3	1.5	4.1
8	27.3	29.7	4.9	5.7	9.8	10.0	0.6	1.9
9	27.0	30.3	7.4	8.6	14.1	❖ 14.6	0.2	0.5
10	27.0	❖ 29.4	1.8	2.2	16.3	16.9	1.1	2.2
11	26.0	26.5	5.2	6.6	12.1	❖ 13.1	0.7	1.9
12	27.8	28.4	4.3	5.2	14.5	❖ 15.2	0.4	0.8
13	26.5	28.9	4.4	5.3	14.7	❖ 15.4	0.2	0.5
14	26.8	29.2	5.5	6.6	15.1	16.0	1.6	3.5
15	27.1	29.5	4.5	5.4	15.2	❖ 16.3	1.0	2.0
16	25.9	27.0	4.4	5.6	14.7	❖ 15.8	0.2	0.5
17	27.2	28.3	2.0	2.5	15.6	❖ 16.8	0.6	1.3
18	29.4	28.9	2.0	2.3	17.7	❖ 18.8	0.9	1.6
19	❖ 29.1	28.4	0.7	0.9	17.3	❖ 18.1	0.4	0.8
20	28.8	28.2	1.5	1.8	17.0	18.0	2.2	4.0

الإشارة (❖) تدل على وجود فروق معنوية بين المعاملات (مستوى 5٪).

إن ارتفاع حرارة الماء والتربة الدنيا ضمن البيت البلاستيكي الذي استخدمت فيه دارة المياه التي مرت ضمن كومات الكمبوست ناجم عن انتقال جزء من حرارة الكمبوست من خلال المبادلات إلى المياه وبالتالي إلى أنابيب المياه بالبيت البلاستيكي والتربة من تحته وكنتيجة لذلك الهواء وهذا يتوافق مع نتائج الدراسات السابقة (Pain and Pain, 1972) و(Schuchardt, 1984).

- **الإنتاجية:** بدء الإنتاج ابتداءً من 2010/6/15 واستمر حتى 5 آب 2010. الشكل (10) يبين وجود زيادة بالإنتاجية تقدر بـ 23٪ مقارنة مع الشاهد حيث كانت متقاربة في القطفتين الأوليين إلا أن الفرق بالزيادة أصبح أكثر وضوحاً ومعنوياً من القطفة الثالثة وحتى النهاية على مستوى 5٪ وكان الإنتاج الكلي أعلى بـ 23٪ عما هو عليه في الشاهد.



شكل (10) : إنتاجية البندورة في كلتا المعاملتين لعام 2009- 2010

تبين النتائج السابقة خلال الموسمين أن إنتاجية البندورة كانت أفضل في كلا الموسمين عند استخدام النظام الذي اعتمد دارة الكمبوست مقارنة مع الشاهد. إن الزيادة بالإنتاج قد تكون ناجمة عن تحسن حرارة التربة وحرارة الهواء نتيجة تدوير المياه الموجودة في أنابيب المياه الموضوعة بين النباتات ضمن المبادلات الحرارية الموجودة في كومات الكمبوست إضافة إلى أن سحب الهواء الموجود ضمن البيت قد يكون أدى إلى خفض نسبة الأكسجين في الهواء ورفع نسبة ثاني أكسيد الكربون ضمن البيت نهاراً وبما يتوافق مع Fulford (1986) وبالتالي حسن بيئة البيت بالنسبة لعملية التمثيل الضوئي بالنباتات الأمر الذي انعكس إيجاباً على الإنتاجية.

الجدوى الاقتصادية:

بلغت قيمة التكاليف الإضافية للنظام الذي استخدم جزءا من طاقة التسبخ 13.82 ل.س/م2 ($1US= 46 ل.س) أي 5528 ل.س/بيت/عروة ربيعية (ستة أشهر) بينما بلغ الربح الإضافي 20.66 ل.س/م2/عروة ربيعية وبذلك تكون القيمة الصافية 6.84ل.س/م^2. كما أن نسبة العائد إلى التكاليف (B/C Benefit Cost Ratio) بلغت 1.50 عند مستوى فائدة 5٪. هذا يبين أن استخدام جزء من الطاقة (الدارة المغلقة) كان ذي عائد إضافي وجدوى اقتصادية.

مما سبق يمكن أن نستخلص أن هذا النظام يمكن أن يسهم في الاستفادة من المخلفات الزراعية حيث إن تراكمها قد يسبب مشاكل للصحة والسلامة إضافة إلى مخاطرها على البيئة في حال احتراقها. لذا فإن تخميرها والاستفادة من الكمبوست (الدبال) وجزء من الطاقة الناتجة عن التخمر تسهم في الحفاظ على البيئة واستدامة الموارد. حيث تبين لنا من خلال هذه الدراسة بأنه يمكن استخدام جزء من الطاقة الناجمة من عملية التسبيخ (التخمير الهوائي) في تحسين أداء نظام الطاقة الشمسية السالب لرفع حرارة التربة والهواء وتحسين الإنتاجية آخذين بعين الاعتبار أنه يجب تجهيز كومة الكمبوست عند استخدام بقايا تقليم اللوزيات قبل حوالي 7 أسابيع للبدء؛ حيث إن حرارة الكمبوست ترتفع بعدها إلى ما فوق الأربعين درجة مئوية وتبقى كذلك إلى أكثر من 12 أسبوعًا. لذا يمكن تخطيط تتابع ترتيب الكومات بناءً على ذلك، كما ينصح بأن يكون فرم بقايا النباتات وخلطها جيداً من أجل الحصول على نوعية كمبوست جيدة مع استخدام نوع جيد من الأنابيب البلاستيكية وإحكام الدارة لمنع تسرب المياه. كما تبين أن هذا النظام ذو جدوى اقتصادية عند استخدام المخلفات النباتية للمزرعة وأن الكمبوست الناتج كان ضمن المواصفات المطلوبة ويمكن استخدامه بشكل آمن في تحسين بنية التربة.

المراجع:

طلب، 1998. نظام طاقة شمسية هجين لتدفئة البيوت البلاستيكية. أسبوع العلم الثامن والثلاثون، الكتاب الثالث – الجزء الأول ص: 107-131.

طلب، 2000-2001 و2001- 2002 و2002-2003. تقارير أبحاث الزراعات المحمية السنوية، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دوما، الجمهورية العربية السورية.

Antunes, D. 1993. The effect of plant defoliation and addition of colored solutions in the passive solar system on tomatoes yield and quality. M. Sc. Thesis. The Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Greece.

Brinton, F. W. 2000. Compost Quality Standards and Guidelines, Prepared for: New York State Association of Recyclers - Woods End Research Laboratory, Inc. USA.

Cooperband, L. 2002. The Art and Science of Composting: A resource for farmers and compost producers. Cooperband, University of Wisconsin-Madison, Center for Integrated Agricultural Systems, March 29, 2002.

Fulford, B. 1986. The Composting Greenhouse at New Alchemy Institute. The New Alchemy Institute Research USA, Report No. 2, January 1986

Grafiadellis, M., Spanomitsios, G. and Mattas, K. 1990. Recent development introduced in the passive solar system for heating greenhouses. Acta Hort. 263:111-119.

Mougou, A. and Verlodt, H. 1990. Improvement in the greenhouse climate by passive solar heating. Plasticulture, 85:25-30.

Pain, I., and J. Pain. 1972. The Methods of Jean Pain: Another kind of garden. Commite International Jean Pain, Hofter Winkelen, Londerzeel, Belgium, pp 1-80.

Prados, N. C., Montero, J. I., Bretones, F., Salvey, J. L., Jimenez, M. and Sevilla, A. 1985. Essay on solar heating of greenhouses, in Almaria, Spain. Paper presented at CNRE workshop on solar heating of greenhouses, Cyprus. Cited by Vafiadis T. D., 2008. "energy saving in greenhouses with CO_2 enrichment", Ph.D thesis, Aristotle University of Thessaloniki, p159.

Shen YJ, Ren LM, Li GX, Chen TB, Guo R. 2011. Influence of aeration on CH4, N2O and NH3 emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture. Waste Management 31(1): 33-38.

Schuchardt, F. 1984. Warmeentzug bei der Kompostierung von Shnittholz. Landbauforschung Volkenrode. 34: 189-195.

Taieb, F and Grafiadellis, M. 1993. Improvement of the efficiency of the passive solar heating system using colored solutions. In: business opportunities for energy technologies in the field of greenhouse horticulture in southern Europe. 12-14 Nov. 1992, Heraklion, Greece, Proceedings 1: 161-169.

Talab, T. and Olympios, Ch. 1994. The effect of selective removal of young leaves on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Revista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale. 88(2): 297-304.

Tucker, M.F. (2006). Extracting Thermal Energy from Composting. Bio. Cycle. 47(8): 38.

Vemmelund, N., and L. Berthelsen, 1979. Heat recovery from mechanically aerated farmyard manures. Agricultural Wastes. 1:157-160.

Using Part of Generated Energy by Fermenting Compost in Increasing the Efficiency of Greenhouses Passive Solar Heating System

Toni Talab

General Commission for Scientific Agricultural Research
Damascus, Syria

Abstract:

The efficiency of passive solar energy system for heating greenhouses, that consists of four water filled transparent PE tubes and placed on the soil surface in-between the cultivated rows in greenhouses, decreases with the increase of the size of plant canopy as plants grow that shades the tubes. The study aims to increase the efficiency of the heating system using part of the generated energy during composting. The energy from the compost piles was transferred through heat exchangers and closed pumped water system. The piles of compost were placed near the greenhouses of treatment and forced aeration was done by a centrifugal fan.

The study was conducted at the Research Station of Protected Cultivation of the GCSAR near Damascus during two successive seasons (2008-2009, 2009-2010). The first season was considered an indicator season. The compost temperature and quality and the effect on tomato yield has been investigated during the first season.

The second season results showed that the efficiency of heat collection was improved in the treatment due to the extra heat gain from compost by water circulation by pumps within heat exchangers placed in the compost piles. The average maximum and minimum water temperature in the treatment as compared to the control increased by 1.3 and 1.1°C, respectively. As a result, the mean maximum and minimum soil temperatures increased by 0.8 and 0.5°C respectively. Meanwhile, the minimum air temperature increased by 0.8°C in comparison with the control.

The improvement in soil and air temperature in addition to aeration resulted in yield increase of 26% and 23% during the first and second season, respectively. This increase was significant in most of the pickings in the second season. The obtained compost had acceptable quality parameters because forced aeration was used to insure aeration.

The economic return was feasible even though the growing season only was for spring cycles.

Key Words: Compost, Heat Exchangers, Passive Solar Energy, Protected cultivation, Temperatures, Tomato yield.