الفحـم الحيـوي

سماد عضوي مُستدام في إطار الاقتصاد الدائري وإغلاق حلقة إعادة التدوير

د. حلمي حمدي، أستاذ مشارك باحث، مركز التنمية المستدامة
عائشة وسام دلول، طالبة دراسات عليا، قسم العلوم البيولوجية والبيئية
كلية الآداب والعلوم- جامعة قطر

المقدمة

رغم الجهود الحثيثة التي تبذلها دول مجلس التعاون الخليجي لتحقيق الاكتفاء الذاتي، فإنها ما تزال تعتمد بشكلٍ متفاوت على واردات الغذاء، ولاسِيَّما في ظل العوامل المناخية القاسية. وفي إطار دعم هذه الجهود، وضعت قطر على سبيل المثال استراتيجية رائدة في مجال الأمن الغذائي، أسفرت عن تحقيق اكتفاء ذاتي أكبر في العديد من المنتجات الزراعية. وتنسجم هذه المبادرات مع استراتيجيات قطر الوطنية للأمن الغذائي (2018-2023، 2024-2030) ورؤية قطر الوطنية 2030. وبناءً على ذلك، لعبت الزراعة في البيوت المحمية المُتحكم في مناخها دورًا أساسيًا في زيادة إنتاج الغذاء محليًا، في ظل امتداد موسم الحرارة والجفاف في قطر. ولهذا الغرض، ارتفعت مساحة الأراضي المغطاة بالبيوت المحمية إلى 666 هكتارًا في عام 2023 مقارنةً بـ 300 هكتارًا في عام 2018.

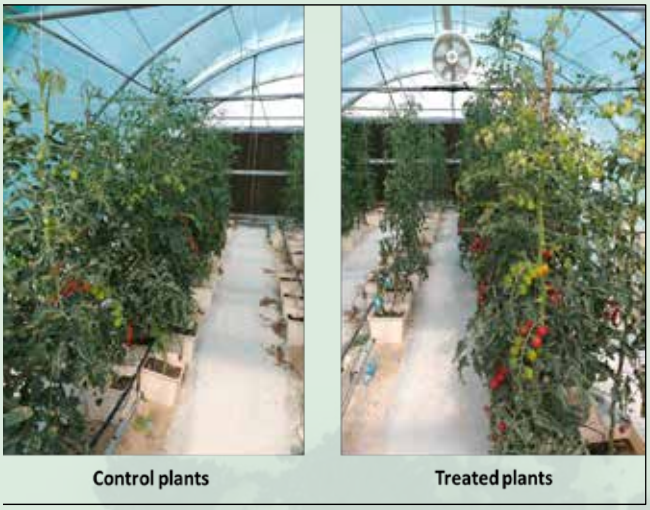
وإلى جانب المحاصيل الزراعية، وخاصة الخضراوات، تُنتج البيوت المحمية كذلك قرابة 15 طنًا من مخلفات المحاصيل للهكتار الواحد سنويًا. وبذلك، يُقدَّر أن أنشطة البيوت المحمية في دولة قطر تُنتج حوالي 10,000 طنًا من مخلفات النباتات سنويًا، مما يُشكِّل عبئًا إضافيًا على البيئة إذا ما تم التصرف فيها بطرق غير مستدامة سواء بالحرق أو بالتجميع في الهواء الطلق. ومن ناحية أخرى، يمكن الاستفادة من هذه المخلفات العضوية وذلك بتحويلها إلى سماد مستدام، مثل الفحم الحيوي (biochar)، مما يُقلل بشكلٍ كبير من حجم النفايات وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، إلى جانب تحسين إنتاجية المحاصيل.

يُنتج الفحم الحيوي، وهو عبارة عن مادة صلبة كربونية مسامية، من نفايات الكتلة الحيوية المختلفة، بما في ذلك المخلفات العضوية الزراعية النباتية والحيوانية، ومخلفات الغابات، وبقايا الطعام. ويُعد التحلل الحراري (pyrolysis) الطريقة الأكثر شيوعًا لإنتاج الفحم الحيوي، حيث يتم تحليل المواد العضوية عند درجات حرارة تتراوح بين 250 و900 درجة مئوية في غياب الأكسجين، ويؤدي تحللها إلى تكوُّن زيت حيوي وغازات ومادة فحمية صلبة. يتميز الفحم الحيوي بتركيبه الكيميائي المستقر، ومساحة سطحه النوعية الكبيرة، ومحتواه العالي من الكربون، وقدرته على تبادل الكاتيونات، مما يجعله مادة متعددة الاستخدامات ذات تطبيقات مستدامة في مختلف المجالات. كما يحتوي على بعض العناصر الغذائية الأساسية للنباتات، مثل البوتاسيوم، والصوديوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والنحاس، والزنك، والحديد، بما يجعله مناسبًا للتطبيقات الزراعية. وبشكلٍ عام، يتمتع إنتاج الفحم الحيوي من المخلفات الزراعية بفوائد بيئية وزراعية هائلة مقارنةً باستخدام الأسمدة الكيميائية أو غيرها من المواد غير المستدامة. ولقد ازداد الاهتمام مؤخرًا باستخدام الفحم الحيوي كسمادٍ عضوي في الزراعة، نظرًا لقدرته على تقليل البصمة الكربونية وتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة، أو لركيزة الإنبات في أنظمة الزراعة المائية، مما يُسهم في تعزيز إنتاج المحاصيل بشكلٍ أكثر استدامة. ويُحسِّن استخدام الفحم الحيوي من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية الأساسية للنبات، مما يجعله مفيدًا بشكلٍ خاص في المناطق القاحلة ذات الموارد المائية المحدودة ومعدلات التبخر العالية والتربة المتدهورة. وفي هذا السياق، تركزت الجهود البحثية حديثًا على تعديل الفحم الحيوي لتعزيز خصائصه الفيزيائية والكيميائية وقدرته على الامتصاص باستخدام تقنيات مختلفة، ويهدف هذا التعديل إما إلى زيادة مساحة سطحه أو تحسين خصائصه السطحية.

الدراسة البحثية

هدفت هذه الدراسة البحثية إلى تحويل المخلفات الزراعية المنتجة في دولة قطر إلى فحم حيوي مُعدَّل لتعزيز الإنتاج المحلي في البيوت المحمية من خلال استعماله كسمادٍ عضوي، وذلك في إطار مفهوم الاقتصاد الدائري. وقد جاء هذا البحث متوافقًا مع استراتيجيات قطر الوطنية للأمن الغذائي وكذلك أولويات البحث في جامعة قطر (الأمن المائي والغذائي – ركيزة استدامة الموارد). وقد تكونت المادة الأولية المستخدمة في إنتاج الفحم الحيوي من خليط بنسبة 1:1 من نوعين من المخلفات الزراعية المحلية، وهي المخلفات الليجنوسليلوزية (Lignocellulosic residues) والحيوانية. تم تصنيع الفحم الحيوي المغناطيسي (MBC) باستخدام طريقة الترسيب المشترك مع أملاح الحديد. وفي خطوة لاحقة، تم تشريب الفحم الحيوي المغناطيسي بالفوسفور (P-MBC) بإضافة فوسفات ثنائي الصوديوم. بعد ذلك، أُضيف نوعي الفحم الحيوي المغناطيسي (MBC) و (P-MBC) إلى ركيزة جوز الهند المخصَّصة لزراعة الطماطم الكرزية (cherry tomato) في البيت المحمي التابع لمركز التنمية المستدامة، طوال دورة زراعية كاملة، مع تطبيق معدلات مختلفة (الشكل 1).

الشكل (1): تجربة زراعة الطماطم داخل البيت المحمي التابع لمركز التنمية المستدامة في جامعة قطر.



الشكل (2): يوضح السمات الظاهرية لنباتات الطماطم المعالجة (treated) وغير المعالجة (control) خلال ذروة مرحلة الإنتاج.

النتائج الرئيسية

–تم توصيف نوعي الفحم الحيوي المغناطيسي المُعدَّل (MBC) و (P-MBC) بدقة باستخدام تقنيات متقدمة لمسح السطح وتحديد خصائصه الفيزيائية والكيميائية. وكشف تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) عن وجود الماغنيتيت (magnetite) على سطح كلا النوعين، بينما أكدت تقنيتا مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FT-IR) وتحليل تشتت طاقة الأشعة السينية (EDX)، نجاح عملية التشريب من خلال الكشف عن وجود الفوسفور ومجموعات تحتوي عليه في عينة (P-MBC).

– استمرت دورة زراعة الطماطم الكرزية حوالي 120 يومًا بعد نقل الشتلات إلى البيت المحمي. وقد عززت جميع معالجات الفحم الحيوي نمو نباتات الطماطم مقارنةً بالعينة الضابطة غير المعالجة، حيث حققت المعالجة بواسطة عينة MBC المضافة بنسبة 2% أعلى وزن طازج وجاف للأجزاء العليا للنبات (السيقان والأوراق). علاوة على ذلك، أسهمت إضافة الفحم الحيوي في تحسين المحصول التراكمي لثمار الطماطم مقارنةً بالعينة الضابطة، إذ سُجِّلت أعلى إنتاجية عند المعالجة بواسطة عينة P-MBC المضافة بنسبة 1% بزيادة في الإنتاج بلغت حوالي 62% (الشكل 2). كما أثَّر استخدام الفحم الحيوي تأثيرًا إيجابًا على إجمالي محتوى السكريات في ثمار الطماطم مقارنةً بالنباتات غير المعالجة بالفحم الحيوي.

آفاق البحث

تناولت هذه الدراسة تحويل المخلفات الزراعية العضوية المنتجة في دولة قطر إلى فحم حيوي مُعدَّل من خلال المغنطة والتشريب بالفوسفور، لاستخدامه كمُحسِّن للتربة او لركيزة الزراعة المائية وذلك في إطار مبادئ الاقتصاد الدائري والحد من النفايات.

أشارت النتائج إلى أن أبرز تأثير لإضافة الفحم الحيوي المغناطيسي تمثل في تحسين إنتاجية ثمار الطماطم الكرزية ومحتواها من السكر مقارنةً بالنباتات غير المُعالجة. وفي هذا السياق، توجد عدة مسارات بحثية يُمكن أن تُسهم في تطوير استخدامات الفحم الحيوي مستقبلاً. أولاً، من الضروري دراسة حركية امتصاص/ إطلاق العناصر الغذائية من الفحم الحيوي المُعدَّل، وذلك لفهم الدور الذي تؤديه كل من عملية المغنطة والتشريب بالفوسفور في تعزيز خاصية التحكم في إطلاق هذه العناصر بعد التطبيق. إضافةً إلى ذلك، فإن استكشاف أنواع أخرى من المخلفات الزراعية في دولة قطر كموادٍ خام محتملة لإنتاج الفحم الحيوي قد يُسهم في الكشف عن طرق لتعزيز خصائصه الوظيفية سواء لتحسين التربة أو لاستخدامه كركيزة في البيوت المحمية، بما يدعم جهود الدولة في تطوير منظومة الأمن الغذائي.