

## The carbon footprint of wheat and rice crops in Iraq for the period (2003-2022)

**Lina Kadhim Sfayyih**

Department of Agricultural Economics , College of  
Agricultural Engineering Sciences, University of  
Baghdad

lina.sfih2208m@coagri.uobaghdad.edu.iq

Received:17/3/2024

**Lect. Dr. Ali Salah Shukr**

Department of Agricultural Economics , College of  
Agricultural Engineering Sciences, University of  
Baghdad

Ali.s@coagri.uobaghdad.edu.iq

Published:31/12/2024

Accepted:5/5/2024

### Abstract:

This research aims to study the impact of the carbon footprint of wheat and rice crops in Iraq for the period (2003-2022). The research assumes that reducing the carbon footprint of agricultural crops through the use of modern technological methods contributes positively to reducing pollution and achieving sustainable agricultural development in Iraq, as the research used methods Descriptive measurement and estimation of the carbon footprint of wheat and rice crops in Iraq during the study period. The research concluded that the total carbon footprint of the wheat crop in Iraq amounted to (510,552,340.1) tons of CO<sub>2</sub>eq during the study period, which is higher than the carbon footprint of the rice crop, which amounted to (25,191,601.3) tons of CO<sub>2</sub>eq, which This is attributed to the increase in the cultivated area for wheat compared to the cultivated area for rice. The research also found a fluctuation in the carbon footprint of the two crops (wheat and rice) in Iraq during the study period, as the highest value of the carbon footprint of the wheat crop reached (38,803,322.5) tons of CO<sub>2</sub>eq in the year (2021) and its lowest value reached (12,931,158.1) tons of CO<sub>2</sub>eq in the year (2018), as for The carbon footprint of the rice crop reached its highest value (2,096,600.6) tons of CO<sub>2</sub>eq in the year (2021) and its lowest value (8,878.2) tons of CO<sub>2</sub>eq in the year (2018), due to the fluctuation in the cultivated area of the crops (wheat and rice) during the period under study, which is attributed to the water crisis that it is suffering from. Including Iraq. The research recommends adopting sustainable agricultural practices in agricultural production operations that depend on reducing greenhouse gas emissions and reducing environmental pollution by replacing fossil fuels with renewable and environmentally friendly energy sources in agricultural operations.

**Keywords:** pollution, green economy, cultivated area.

### البصمة الكربونية لمحصولي القمح والرز في العراق للمدة (2003-2022)

م. د علي صلاح شكر

قسم الاقتصاد الزراعي - كلية علوم الهندسة الزراعية - جامعة  
بغداد

لينا كاظم سفيح نايف

قسم الاقتصاد الزراعي - كلية علوم الهندسة الزراعية - جامعة  
بغداد

### المستخلص :

يهدف هذا البحث الى دراسة أثر البصمة الكربونية لمحصولي القمح والرز في العراق للمدة ( 2003-2022 ) ، ويفترض البحث ان خفض البصمة الكربونية للمحاصيل الزراعية من خلال استخدام الأساليب التكنولوجية الحديثة يسهم ايجاباً في خفض التلوث وتحقيق التنمية الزراعية المستدامة في العراق ، حيث أستخدم البحث الأساليب الوصفية في قياس وتقدير البصمة الكربونية لمحصولي القمح ولرز في العراق خلال مدة الدراسة ، وتوصل البحث الى ان مجموع البصمة الكربونية لمحصول القمح في العراق بلغت (510552340.1) طن CO<sub>2</sub>eq خلال مدة الدراسة وهي أعلى من البصمة الكربونية لمحصول الرز والتي بلغت (25191601.3) طن CO<sub>2</sub>eq والذي يعزى الى ارتفاع المساحة المزروعة لمحصول القمح مقارنة بالمساحة المزروعة لمحصول الرز. وكذلك توصل البحث الى تذبذب البصمة الكربونية لمحصولي (القمح والرز) في العراق خلال فترة الدراسة أذ بلغت اعلى قيمة

للبيضة الكربونية لمحصول القمح (38803322.5) طن CO<sub>2</sub>eq في عام (2021) واقل قيمه له (12931158.1) طن CO<sub>2</sub>eq عام (2018)، أما بالنسبة للبيضة الكربونية لمحصول الرز بلغت اعلى قيمة لها (2096600.6) طن CO<sub>2</sub>eq عام (2021) واقل قيمة لها (8878.2) طن CO<sub>2</sub>eq في عام (2018) ، بسبب تذبذب المساحة المزروعة لمحصولي (القمح والرز) خلال الفترة المبحوثة والتي تعزى الى الازمة المائية التي يعاني منها العراق . ويوصي البحث بأبتاع الممارسات الزراعية المستدامة في عمليات الانتاج الزراعي التي تعتمد على التقليل من انبعاثات الغازات الدفيئة والحد من التلوث البيئي من خلال أستبدال الوقود الاحفوري بمصادر الطاقة المتجددة والصديقة للبيئة في العمليات الزراعية.

**الكلمات المفتاحية :** التلوث ، الاقتصاد الاخضر ، المساحة المزروعة .

#### المقدمة :

يعد تغير المناخ من أبرز القضايا البيئية التي من المتوقع أن يكون لها آثار خطيرة في جميع أنحاء العالم اذ تشكل حماية المناخ تحدياً كبيراً للعالم الحديث من حيث مواجهة التغيرات المناخية ، ولمواجهة قضايا تغير المناخ والأمن الغذائي والتدهور البيئي يجب على جميع دول العالم أن تأخذ في الاعتبار الاتجاهات والآراء الناشئة في مجال تخفيف الكربون في الزراعة من خلال الاعتماد على الابتكار التكنولوجي والأساليب الصديقة للبيئة معاً لإنشاء نظام غذائي محايد للكربون . أن الزراعة تلعب دوراً حاسماً في الرخاء الاقتصادي للعديد من البلدان كونها تشكل جزءاً كبيراً من الناتج المحلي الإجمالي لها وعلى الرغم من انها تساهم بشكل كبير في تحقيق الأمن الغذائي إلا انه يظل من الضروري تعزيز الممارسات المستدامة فيها كون القطاع الزراعي يعد مساهماً كبيراً في انبعاثات الغازات الدفيئة ، حيث أدى تزايد الطلب العالمي على المحاصيل الزراعية للأغذية بسبب تزايد السكان الى توسيع الاراضي الزراعية وزيادة إنتاج المحاصيل مما أدى الى التسبب بأضرار واسعة على البيئة من حيث فقدان الغطاء النباتي والكربون في التربة وذلك نتيجة إطلاق ثاني أكسيد الكربون والميثان وثاني أكسيد النيتروز اذ تشكل هذه الانبعاثات محركاً رئيساً لتغير المناخ وتشكل تهديداً للأمن الغذائي . أن التقييم الدقيق لأنبعاثات الكربون يعد شرطاً أساسياً الذي يمكن من خلاله صياغة وضمان تنفيذ السياسات الفعالة للحد من الكربون ، وتعد البيضة الكربونية أداة لقياس مجموع انبعاثات الغازات الدفيئة في نظام الانتاج بناءً على تقييم تأثيره على التغيرات المناخية على شكل (مكافئ ثاني أكسيد الكربون) ، وتم استخدام البيضة الكربونية كأول مفهوم مقترح لقياس انبعاثات الغازات الدفيئة لخدمة او منتج معين ، حيث أصبحت البيضة الكربونية تحظى بشعبية كبيرة وكمؤشر قيم لأدارة الغازات الدفيئة للانتاج الزراعي ، وتم قبول قياس البيضة الكربونية بشكل واسع كنهج يمكن أن يعالج التأثيرات المحتملة على تغير المناخ للأنشطة البشرية وقطاعات الانتاج . أن البيضة الكربونية تعد من مؤشرات الاستدامة التي تفيد في قياس الضغوط المستمرة التي تمارسها الأنشطة البشرية على الموارد الطبيعية والتي تؤثر على القدرة الاستيعابية للكوكب ، وأن تحديد البيضة الكربونية للمحاصيل الزراعية يمثل عنصراً مهماً لتحقيق الزراعة المستدامة إذ أن توازن الكربون يمكن ان يكون مؤشراً على كفاءة الانتاج الزراعي وخصوبة التربة والتلوث البيئي . يعد محصولي القمح والرز من أكثر المحاصيل استهلاكاً للمياه وأكثرها انبعاثاً للغازات الدفيئة على مستوى العالم وهي من اهم المحاصيل الزراعية على مستوى العراق من حيث المساحة المزروعة وأكثرها استهلاكاً من بين بقية المحاصيل وتشكل غذاء اساسي ويومي لمعظم السكان في العراق ، وبما أن القطاع الزراعي يتسبب ببيضة كربونية عالية ولكونه بنفس الوقت يوفر سبل العيش للكثير من الافراد ويخلق فرص عمل خضراء ولا يمكن الغنى عنه لذلك لابد من تحقيق التوافق في أنظمة الانتاج الحالية بين القضايا الاقتصادية والبيئية لتحقيق اقتصاد بيئي أخضر ، ومن هنا تبرز اهمية البحث في تقدير البيضة الكربونية لمحصولي القمح والرز في العراق للمدة (2003-2022) لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة والانتعاش الاقتصادي الاخضر في العراق للحد من التغيرات المناخية والحفاظ على التنوع البيولوجي والنظم البيئية .

**المبحث الاول : منهجية البحث الدراسات السابقة****أولاً : منهجية البحث :**

**1- مشكلة البحث :-** يعد القطاع الزراعي من القطاعات الرئيسية في اي عملية تنمية اقتصادية لكن مازالت هناك عوامل تتحكم في هذا القطاع المهم وتسبب قصوراً في مجال تنميتها الى جانب الاضرار البيئية والذي يحدث بسبب تراجع مساحة الأراضي الزراعية نتيجة التوسع العمراني والتصحّر وملوحة الارض وشحة المياه وهذا يقابله زيادة في اعداد السكان المستمر ، وبالرجوع الى السنوات الماضية نرى ان العالم ودول المنطقة ومنها العراق شهد ظهور ازمت متعددة ذات صلة بالغذاء والوقود والمياه وما تزال اثارها قائمة ومحسوسة في معظم انحاء العالم وتعقد الوضع اكثر بتفاقم مشكلة التغير المناخي والاحتباس الحراري والذي هو ظاهرة تزيد من حدة اثار كل ازمة من الازمت العالمية. كما ان فقدان العراق وعلى مدى سنوات عديدة من وجود رؤية إستراتيجية ومستقبلية واضحة لتبني التحول الى اقتصاد اخضر يعتمد خفض الانبعاثات الكربونية وعلى تعزيز استخدام الموارد بشكل فعال ادى الى ان تعاني معظم المحافظات العراقية من تلوث كبير في الهواء منها يعود الى عوامل طبيعية بسبب التصحر وزيادة معدلات العواصف الترابية المتكررة وذلك بسبب قلة الغطاء النباتي ، او الى عوامل من صنع الانسان بسبب الممارسات الزراعية غير المستدامة التي تعتمد على استخدام الاسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية واستخدام الوقود الاحفوري في الطاقة وغيرها من الاساليب التقليدية التي ادت الى رفع انبعاثات الغازات الدفيئة ، جميع هذه الاسباب فاقمت من الازمة بشكل كبير وادت الى تراجع القطاع الزراعي ومخرجاته وعدم قدرته على تحقيق الاكتفاء الذاتي و الامن الغذائي في العراق . نتيجة لما سبق تتضح مشكلة هذه الدراسة حول ما هي البصمة الكربونية وكيف يمكن حسابها لمحصولي القمح والرز في العراق خلال مدة البحث ؟

**2- اهمية البحث :-** تعد البصمة الكربونية للنظم الغذائية مجالاً بحثياً مهماً في الأستجابة لتغير المناخ وهي مجال جديد لم تتل حظها من الاهتمام ولاسيما من الجهات المسؤولة من الجانب الاقتصادي والبيئي في العراق وكان ذلك دافعا رئيساً لاختيار الموضوع . أذ أصبحت حسابات البصمة الكربونية مطلوبة مؤخراً وبشكل كبير وقد تم تطوير العديد من الأساليب والمنهجيات والأدوات لحسابها ، وهي تعد طريقة رئيسة لقياس انبعاثات الكربون في الإنتاج الزراعي مما يوفر دعماً علمياً مهماً للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة وبناء أنظمة غذائية أكثر استدامة. اذ تساعد دراسة البصمة الكربونية للأنظمة الغذائية على الفهم الدقيق لخصائص وقواعد انبعاثات الكربون في الإنتاج الزراعي وتوفر أساساً علمياً لصياغة الأستراتيجيات ومسارات التنفيذ نحو الحد من انبعاثات الكربون الزراعية ، وهو ما له أهمية كبيرة في تحقيق الأقتصاد الأخضر والتنمية الزراعية الخضراء ، كما ان غياب البعدين البيئي والاجتماعي في برامج التنمية الاقتصادية في العراق ادى الى ابقاء السلوكيات السلبية في التعاون مع الموارد البشرية والبيئية كما هي . ولذا ثبت اهمية هذه الدراسة في تركيز الضوء بتغيير الاتجاه نحو المحافظة على الموارد بشكل عام وتطبيق مبادرات الأقتصاد الاخضر بشكل خاص ، واهمية اعتماد حسابات البصمة الكربونية في قياس التدهور البيئي ضمانا لحقوق الاجيال القادمة خصوصا في ظل التراجع والتردي في الموارد الطبيعية من خلال قياس البصمة الكربونية لأهم محاصيلين أستراتيجيين في العراق وهما القمح والرز لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة في العراق.

**3- أهداف البحث : - يهدف البحث الى الاتي :-**

- 1- توضيح مفهوم البصمة الكربونية ودراسة العوامل التي تساهم في زيادة البصمة الكربونية للمحاصيل الحقلية .
- 2- حساب البصمة الكربونية لمحصولي القمح والرز في العراق للمدة (2003-2022) .
- 3- معرفة الممارسات الزراعية التي تقلل من البصمة الكربونية للزراعة وتعمل على تعزيز الأقتصاد الاخضر والتنمية الزراعية المستدامة في العراق .

**4- فرضية البحث :-**ينطلق البحث من فرضية مفادها ان تعزيز الأقتصاد الاخضر وخفض البصمة الكربونية للمحاصيل الزراعية من خلال استخدام الممارسات الزراعية المستدامة والأساليب التكنولوجية الحديثة التي تقلل من أنبعاثات الغازات الدفيئة والالتزام

باستخدام الاسمدة بالنسب الموصى بها يسهم ايجاباً في خفض التلوث وتحقيق التنمية الزراعية المستدامة وبالتالي مساهمته في تعزيز النمو الاقتصادي في العراق ، وانه مازال بعيداً عن التحقق في جوانب كثيرة في الاقتصاد العراقي وخاصة الاقتصاد الزراعي .

5- **منهج البحث** : استخدم البحث الأساليب الوصفية والكمية في قياس وتقدير البصمة الكربونية لمحصولي القمح والرز في العراق للمدة (2003-2022) .

#### 6- **حدود البحث** :

أ - **الحدود الزمانية** : أن بيانات البحث تغطي المدة (2003-2022) .

ب - **الحدود المكانية** : أن الحدود المكانية للبحث تتمثل بالبصمة الكربونية لمحصولي القمح والرز لإجمالي العراق .

7- **وسائل جمع البيانات** : ان مصادر البيانات هي بيانات ثانوية تم الحصول عليها من الجهات ذات العلاقة والمتمثلة بوزارة التخطيط والتعاون الإنمائي والدوائر التابعة لها .

8- **الاساليب الاحصائية المعتمدة** : استخدم البحث اسلوب التحليل الوصفي والكمي في حساب البصمة الكربونية لمحصولي القمح والرز في العراق للمدة (2003-2022) .

#### المبحث الثاني : الجانب النظري :

**أولاً : مفهوم البصمة الكربونية** :- أن البصمة الكربونية هي مصطلح مستمد من البصمة البيئية وهي تمثل أحد المؤشرات الرئيسية لقياس الكمية الأجمالية لأنبعاث ثنائي أكسيد الكربون التي تنتج بشكل مباشر أو غير مباشر عن نشاط ما والتي لها صلة بالتغيرات المناخية المرتبطة بأنشطة الانتاج الغذائي والأستهلاك البشري والبصمة الكربونية هي أحد أهم مؤشرات حماية البيئة وهي ضرورية لقياس كفاءة عمليات الإنتاج والاستدامة الزراعية (Yang et al., 2014 :132) .

تشتمل البصمة الكربونية على الانبعاثات الأولية الغير مباشرة من المدخلات الزراعية (الحرق ، الحصاد ، استخدام الاسمدة والمبيدات الحشرية) والانبعاثات المباشرة تنفس التربة ، وأنبعاثات الكربون وأوكسيد النيتروجين ، وصافي الانتاجية الأولية للتربة (Bista et al., 2024:3) . أن البصمة الكربونية هي مقياس لانبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن نشاط معين باعتبارها نهجاً جديداً لقياس تأثير وضغط انبعاثات الغازات الدفيئة على البيئة العالمية وتم اقتراح نظرية البصمة الكربونية الزراعية بناءً على نتائج الأبحاث الخاصة بدورة الكربون في النظم البيئية الزراعية والتي قدمت دعماً نظرياً للتحليل الدقيق لانبعاثات الغازات الدفيئة الزراعية (Hane et al., 2024:11)

**ثانياً : الزراعة والبصمة الكربونية** :- يعد الاحتباس الحراري أحد التحديات الرئيسية التي تواجه البشرية اليوم وقد حظي باهتمام عالمي كبير حيث تلعب انبعاثات الغازات الدفيئة من المحاصيل الزراعية دوراً مهماً في ظاهرة الاحتباس الحراري ( Ning et al., 2024:29) ، أن يزايد الطلب على الغذاء مع استمرار زيادة النمو السكاني والاقتصاد والمجتمع (7 : Jin et al., 2024) ، وتعتبر الزراعة ضرورية لبقاء الإنسان وإن إطعام هذا العدد المتزايد من السكان ومنع التغير المناخي الخطير يشكل تحدي كبير تواجهه البشرية (Dong et al., 2024:109) ، أن أن الأراضي الصالحة للزراعة محدودة ولا يمكن للبشرية تلبية الطلب المتزايد على الغذاء إلا من خلال التحسين المستمر لإنتاجية الأراضي الزراعية الحالية (1383 : Holka et al., 2022) ، وأن زيادة إنتاجية الأراضي الزراعية تؤثر بشكل كبير على ظاهرة الاحتباس الحراري واستهلاك المياه العذبة (17 : Xue et al., 2024) ، أن أن الزراعة تعد تغيير حتمي في استخدام الأراضي وأحد اكبر مصادر أنبعاث الغازات الدفيئة في العالم حيث أطلقت في عام (2005) حوالي (10-12%) من إجمالي الغازات الدفيئة العالمية (2 : Lu et al. , 2018) ، في حين ارتفعت هذه النسبة الى (13.5%) في عام (2009) وهي تعد ثاني أكبر مصدر للانبعاثات الغازات الدفيئة في هذه السنة (37 : Astudillo et al. , 2014) ، أما في عام (2011) فقد بلغت (18%) من إجمالي الانبعاثات العالمية للغازات الدفيئة (214 : Sah et al., 2018) ، ترتبط الاهمية العلمية للأختراعات الزراعية بكمية أنبعاثات الغازات الدفيئة الناتجة عن ممارسات الإدارة الزراعية مثل (الحراثة ، والحصاد ، والتسميد

غير العضوي ، والسماذ ، والمبيدات الحشرية ، وأضافة الفحم الحيوي ، والقدرة على التمثيل الضوئي للمحاصيل) لذلك لابد من دراسة الممارسات الزراعية المستدامة لمواجهة هذه القضايا (Mohanaty et al., 2024 :14) ، يمكن للبصمة الكربونية التحكم في الإدارة الزراعية من خلال التقييم الزراعي للتخفيف من انبعاث الغازات الدفيئة وبالتالي تقليل التغيرات المناخية . ان الممارسات الزراعية تحتاج الى قدر كبير من الطاقة بسبب العمليات الزراعية والآلات المستخدمة ولذلك يعد تعزيز كفاءة استخدام الطاقة وخفض انبعاث الغازات الدفيئة مطلباً أساسياً (Wang et al. , 2019: 2047) وبما أن هذه الانبعاثات تأتي من التربة ومن الأنشطة البيولوجية الحساسة لخصائص التربة فإنها تجذب المزيد من الأهتمام بشكل تدريجي لزيادة كفاءة الإنتاج وتقليل مركبات الكربون الكلورية معاً (Peter et al. , 2017 : 462) ، حيث أثبتت العديد من الدراسات أهمية التربة في تقليل استخدام الطاقة التقليدية وتوفير الطاقة النظيفة وبالتالي فهم الزراعة منخفضة الكربون (Boettcher et al., 2020 : 1006) ، يجب أن يتم الحد من انبعاث الغازات الدفيئة لضمان استدامة صحة (جودة) التربة وتحسينها ، ونظراً لمكونات الفعالة المباشرة وغير المباشرة المسؤولة عن انبعاثات الغازات الزراعية الدفيئة فإن فهم الآليات المعقدة والديناميكية للتربة وعلاقتها بتغير المناخ هو أمر بالغ الأهمية (Chu et al., 2022 :182) ، حيث يحتاج فهم تأثيرات تغير المناخ على الكربون العضوي للتربة الى تحديد التأثيرات المتوقعة لتغير المناخ على المدى المقارن ومدخلات وخسائر التربة (Ozlu et al. , 2022 :1435) . أن للزراعة تأثير مزدوج ومتعارض لتغير المناخ فهي تساهم بحصة كبيرة من انبعاثات الغازات الدفيئة وفي الوقت نفسه تمثل مصدر امتصاص لثنائي أكسيد الكربون (Wang et al. , 2019 : 4931) ، كما أن الزراعة تعد أكبر مساهم لانبعاث الغازات الدفيئة فهي تغطي (35%) من مساحة الأرض (Liu et al. , 2018 : 1297) ، وتساهم بحوالي (25%) من ثنائي أكسيد الكربون و (50%) من الميثان و (70%) من أكسيد النيتروز (Cui et al., 2022 : 157) ، ويتم تخزين ما يقرب من ثلثي الكربون المستخدم في الزراعة في التربة في الجزء العلوي من المتر الواحد (Naresh et al., 2024:15) ، وغالبية هذه الانبعاثات للغازات الدفيئة تنشأ من استخدام الوقود الأحفوري في الآلات الزراعية وكذلك تربية الحيوانات (تخزين روث الماشية ، التخمر المعوي للحيوانات) واستخدام الأراضي الزراعية (تحلل مخلفات المحاصيل ، شطف مركبات النيتروجين بالماء ، التخصيب بالمخصبات المعدنية والعضوية) وسيواجه العالم في المستقبل صعوبات للحد من هذه الانبعاثات للغازات الدفيئة (Al-Mansour et al., 2017:9) ، إذ أدى الاستخدام المكثف والمتكرر للأسمدة وارتفاع مؤشر إعادة الزراعة في الأراضي النباتية الكثيفة إلى تدهور التربة وانبعاث الغازات الدفيئة والتلوث البيئي (Miao et al. , 2023 : 2) ، مما يشكل تهديداً كبيراً على البيئة والأمن الغذائي (Xu et al., 2024:36) ، لذلك ينبغي هنا النظر في جميع العمليات في نظام الزراعة التي تمثل مصدراً لانبعاثات الغازات الدفيئة (Forfora et al., 2024:14) ، ونتيجة لذلك أصبح الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة والتعاون الدولي أمر بالغ الأهمية لمعالجة انبعاثات غازات الدفيئة وهو الأسلوب الأساسي لمعالجة تغير المناخ (Bhatti et al., 2024:18) ، لذلك فإن تعزيز إدارة ممارسات زراعة التربة التي تعزز عزل الكربون العضوي في التربة يعد أمراً بالغ الأهمية للتخفيف من انبعاثات الغازات الدفيئة للمحاصيل الزراعية (Assia et al., 2024 :8) ، حيث تؤثر هذه الممارسات الزراعية على تنفس التربة عن طريق تغيير العوامل البيئية والبيولوجية للتربة (مثل درجة الحرارة والرطوبة ودرجة الحموضة والتهوية وحالة المغذيات والكائنات الحية الدقيقة في التربة) (Chen et al., 2021 : 1057) ، ولذلك فإن تحسين تخفيف الكربون دون تقليل غلة المحاصيل عن طريق تحسين أنظمة إدارة الأسمدة النيتروجينية يعد قضية علمية ملحة في الإنتاج الزراعي (Wang et al., 2024:19) ويعد فهم ديناميكيات انبعاثات الغازات الدفيئة وإزالتها في الزراعة أمراً بالغ الأهمية لتعزيز مستقبل مستدام وقادر على التكيف مع المناخ (Saberikamarposhti et al., 2024:11) ، لذا فهناك حاجة ماسة إلى ممارسات الإدارة الزراعية التي تعمل على تحسين تصريف الكربون في التربة وتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة للكربون والنيتروجين للتخفيف من ظاهرة الاحتباس الحراري والتدهور البيئي، ولتعزيز التنمية الزراعية المستدامة (Guo et al., 2024:47) .

**ثالثاً : العوامل الرئيسية المساهمة في البصمة الكربونية للمحاصيل الحقلية :-** هناك العديد من العوامل التي تساهم بانبعاث الغازات الدفيئة المرتبطة بإنتاج المحاصيل الحقلية ومعظم هذه الانبعاثات ناتجة عن :-

- 1-3 : تحلل مخلفات المحاصيل : عادة ما يتم ترك ( قش المحاصيل ) على سطح التربة بعد عمليات الحصاد للمحصول الحقلية  
أذ تعمل بقايا هذا المحصول كمصدر مهم للنتروجين في التربة من خلال عملية ( النتريجة ) مما يساهم بشكل مباشر أو غير مباشر  
في انبعاث أكسيد النيتروجين أذ أن (25%) من إجمالي الانبعاثات تعزى الى تحلل بقايا المحاصيل (Liu et al. , 2016 : 2).
- 2-3 : نقل وتصنيع وتخزين الأسمدة غير العضوية والمبيدات الحشرية : أن الانبعاثات الناتجة عن العمليات الصناعية لتصنيع  
الأسمدة النيتروجينية باستخدام الوقود الأحفوري قبل استخدامها في المزرعة تفوق بكثير الانبعاثات الناتجة عن إنتاج المبيدات الحشرية  
وتطبيقها على المحاصيل الحقلية (Yan et al. , 2015 : 131).
- 3-3 : استخدام الأسمدة غير العضوية للمحاصيل الحقلية : تساهم الأسمدة المستخدمة بإنتاج محاصيل الحبوب بأكثر نسبة من  
البصمة الكربونية بمتوسط (65%) من إجمالي الانبعاثات يشمل إجمالي هذه الانبعاثات (المباشرة وغير المباشرة) وأكسيد النيتروجين  
وترشيح النترات من (NH<sub>3</sub>) وكذلك التطاير الناتج من استخدام أسمدة النيتروجين في الحقول الزراعية التي تشكل (27%) من إجمالي  
هذه الانبعاثات كما أن استخدام الأسمدة غير العضوية يؤدي الى تسريع تدهور الأراضي مما يجعل الزراعة غير مستدامة في المدى  
الطويل (Zhang et al. , 2018 : 614) .
- 3-4 : العمليات الزراعية المختلفة مثل حصاد المحصول وعمليات الحراثة ورش المبيدات (Zhang et al., 2017 : 4126).
- 3-5 : كسب او خسارة الكربون في التربة من مختلف النظم الزراعية (Kashyap et al., 2021:1029).

#### المبحث الثالث : الجانب العملي :

أولاً : البصمة الكربونية لمحصول القمح في العراق : - أن محصول القمح من المحاصيل الاستراتيجية والأساسية للأمن الغذائي  
وهو يعد من أهم محاصيل الحبوب على مستوى العالم فهو محصول رئيسي لأكثر من (1.5) مليار نسمة حول العالم كونه غذاء  
أساسي ويومي لكثير من دول العالم ، وهو المحصول الاستراتيجي الأول في العراق ويعد مصدر دخل رئيسي لغالبية الفلاحين في  
العراق على الرغم من وجود الكثير من الصعوبات في إنتاجه بسبب الأزمة المائية التي يعاني منها العراق ( Amiri et al., 2022  
:522) ، أذ واجهت زراعة القمح خلال العقد الماضي الكثير من الصعوبات وأبرز هذه الصعوبات هي مشكلة التغير المناخي  
والاعتماد على الأساليب التقليدية في الزراعة ولذلك برزت ضرورة الأهتمام بقضايا المناخ (Hilal et al. , 2023 : 106) ، أذ  
تؤدي زراعة القمح الى انبعاث الغازات الدفيئة طول فترة إنتاجه أذ أن القمح يعمل على تحويل المزيد من ثنائي أكسيد الكربون من  
الغلاف الجوي الى كربون في التربة مما يؤدي الى زيادة انبعاثه طوال دورة الإنتاج ويمكن قياس هذه الانبعاثات عن طريق البصمة  
الكربونية الزراعية لكل وحدة مساحة كما في الجدول (1)(Ali et al. , 2017 :609) .

جدول (1) : المساحة المزروعة والبصمة الكربونية لمحصول القمح في العراق للمدة (2003-2022)

| السنة | المساحة المزروعة لمحصول القمح (دونم)<br>(1) | البصمة الكربونية لمحصول القمح (طن CO <sub>2</sub> e)<br>(2) |
|-------|---|---|
| 2003  | 6854900                                     | 28105090  |
| 2004  | 6159200                                     | 25252720  |
| 2005  | 6410700                                     | 26283870  |
| 2006  | 6054100                                     | 24821810  |
| 2007  | 6279500                                     | 25745950  |
| 2008  | 5741200                                     | 23538920  |
| 2009  | 5049800                                     | 20704180  |
| 2010  | 5543900                                     | 22729990  |

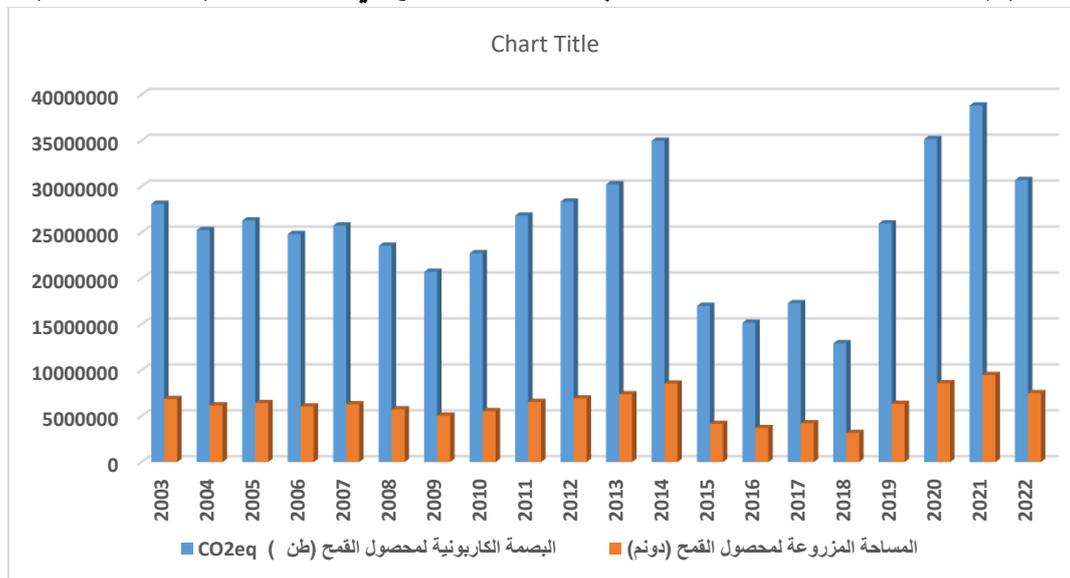
|            |            |                   |
|------------|------------|-------------------|
| 26825480   | 6542800    | 2011              |
| 28349450   | 6914500    | 2012              |
| 30242830   | 7376300    | 2013              |
| 34964800   | 8528000    | 2014              |
| 17001470   | 4146700    | 2015              |
| 15158930   | 3697300    | 2016              |
| 17285190   | 4215900    | 2017              |
| 12931158.1 | 3153941    | 2018              |
| 25957575.6 | 6331116    | 2019              |
| 35152100.3 | 8573683    | 2020              |
| 38803322.5 | 9464225    | 2021              |
| 30697503.6 | 7487196    | 2022              |
| 510552340  | 124524961  | المجموع           |
| 25527617   | 6226248.05 | المتوسط           |
| 38803322.5 | 9464225    | أعلى قيمة         |
| 12931158.1 | 3153941    | أدنى قيمة         |
| 0.05%      | 0.05%      | معدل النمو السنوي |

المصدر : وزارة التخطيط / الجهاز المركزي للأحصاء .

العمود (2) من عمل الباحثين وتم احتسابه وفق المعادلة الآتية :

البصمة الكربونية = 16.4 (طن) من ثنائي أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> لكل هكتار من المساحة المزروعة للمحصول  
تحويل المساحة المزروعة بالهكتار الى المساحة المزروعة بالدونم وحساب البصمة الكربونية وفق المعادلة الآتية :  
البصمة الكربونية = 4.1 دونم من ثنائي أكسيد الكربون X المساحة المزروعة للمحصول بالدونم

الشكل (1) : المساحة المزروعة والبصمة الكربونية لمحصول القمح في العراق للمدة (2003-2022)



المصدر : من عمل الباحثين بالأعتماد على بيانات الجدول (1) .

يتضح من الجدول (1) الأتي : - أن البصمة الكربونية والتي تمثل الانبعاثات الكربونية الناتجة بشكل مباشر عن زراعة محصول القمح فهي أيضاً متذبذبة خلال مدة الدراسة إذ بلغت أعلى قيمة لها (38803322.5) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO<sub>2eq</sub>) في عام (2021) بسبب الزيادة في المساحة المزروعة لمحصول القمح في هذه السنة والتي تعزى الى توسيع مساحة الخطة الزراعية المخصصة لزراعة محصول القمح من قبل وزارة الزراعة بغية تحقيق الأكتفاء الذاتي للدولة مما أدى الى زيادة البصمة الكربونية الناتجة عن العمليات الزراعية مثل الحراثة والحصاد والتسميد غير العضوي والمبيدات الحشرية وغيرها من الممارسات الزراعية التي تؤدي الى زيادة انبعاث الغازات الدفيئة (البصمة الكربونية) من التربة ، أما أقل قيمة للبصمة الكربونية كانت (12931158.1) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO<sub>2eq</sub>) في عام (2018) بسبب انخفاض المساحة المزروعة لمحصول القمح في هذه السنة والتي تعود الى قيام السلطات العراقية بتقليل مساحة الخطة الزراعية لزراعة محصول القمح الى النصف مقارنة بالسنوات السابقة بسبب الأزمة المائية التي يعاني منها العراق مما أدى الى تراجع البصمة الكربونية الناتجة عن زراعة محصول القمح في هذه السنة ، أما بالنسبة لمجموع البصمة الكربونية خلال مدة الدراسة فقد بلغ (510552340.1) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO<sub>2eq</sub>) في حين بلغ المتوسط (25527617.01) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO<sub>2eq</sub>) وبمعدل نمو (0.05%). كما يتضح من الجدول (1) هناك تذبذب في المساحة المزروعة لمحصول القمح في العراق خلال مدة الدراسة حيث بلغت أعلى قيمة لها (9464225) دونم في عام (2021) بسبب زيادة مساحة الخطة الزراعية وعزم وزارة الزراعة على زيادة إنتاج محصول القمح لتحقيق الأكتفاء الذاتي منه لاسيما بعد حدوث الحرب ( الروسية - الأوكرانية) من خلال زيادة المساحات المزروعة منه بالرغم من انخفاض الواردات المائية لنهري دجلة والفرات بسبب سياسات دول المنبع ( تركيا وأيران ) وتقليل حصته المائية وعلى الرغم من قلة الامطار إلا أن وزارة الزراعة عازمت على زيادة إنتاج محصول القمح حيث خصصت 6 ملايين دونم من مساحة الاراضي لزراعته من خلال اعتمادها على مياه الأبار المحفورة على عمق (100) متر والري بواسطة المرشحات المجهزة للتعويض عن شحة المياه الناتجة عن تراجع الواردات المائية لنهري دجلة والفرات ونتيجة لذلك زادت المساحات المزروعة لمحصول القمح في هذه السنة بشكل كبير وحقق العراق أكتفاءه الذاتي بنسبة (80%) من محصول القمح ، أما أقل قيمة لها كانت (3153941) دونم في عام (2018) بسبب الخطة الزراعية وتقليص المساحات المروية المخصصة لزراعة القمح الى النصف ويعزى ذلك الى الجفاف والأزمة المائية التي يعاني منها العراق بسبب تراجع الواردات المائية لنهري دجلة والفرات وتحجيم حصة العراق المائية من قبل دول المنبع وكذلك بسبب التغيرات المناخية والاحتباس الحراري وقلة الامطار مما أدى الى قلة الخزين المائي والذي أجبر وزارة الزراعة على تقليص المساحات المزروعة منه بشكل كبير في هذه السنة حيث منعت السلطات العراقية المزارعين من زراعته بكثرة كونه يعد من المحاصيل الزراعية كثيفة الأستهلاك للمياه إذ ألزمت السلطات المزارعين بمساحات زراعية محددة ووفق الخطة الزراعية المقررة مما أدى الى التراجع الكبير في المساحات المزروعة للقمح في هذه السنة وبالتالي انخفاض إنتاجه بنسبة (20%) مقارنة بسنة (2017) وزيادة الاعتماد على الواردات منه ، في حين بلغت إجمالي المساحة المزروعة لمحصول القمح في العراق خلال مدة الدراسة (124524961) دونم أما المتوسط فقد بلغ (6226248.05) دونم وبمعدل نمو مقداره (0.05%) دونم خلال مدة الدراسة .

**ثانياً : البصمة الكربونية لمحصول الرز في العراق :** يعد محصول الرز من المحاصيل التي تمثل الغذاء الرئيسي للإنسان وهو محصول ضروري جداً لتحقيق الأمن الغذائي لكثير من دول العالم فهو يعتبر غذاء رئيسي لأكثر من نصف سكان العالم (Fu et al., 2014: 33) وتتم زراعته في أكثر من (100) دولة حول العالم وهو غذاء رئيسي لأكثر من (50%) من سكان العالم (Fei et al., 2024: 285) ، ويقدر إنتاجه كل عام أكثر من (480) مليون طن وفي العراق يعد محصول القمح ثالث أهم محصول صيفي من بعد القمح والشعير إلا أن إنتاجه لا يكفي لسد احتياجاته المحلي إذ يبلغ معدل إنتاجه السنوي (3.55) مليون طن وهو يعتبر معدل منخفض جداً مقارنة بالدول الأخرى لذلك يعتبر العراق بلد مستورد للأرز ويعزى هذا الانخفاض في الإنتاج الى أزمة العراق المائية التي أجبرت السلطات العراقية على تقليص المساحات المزروعة لمحصول الرز وفق خطة زراعية ( Ewaid et al. : 2021 ) ، يعتبر حقل الأرز مصدرًا مباشرًا للكربون (C) وثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) وأكسيد النيتروجين الذي ينبعث منه

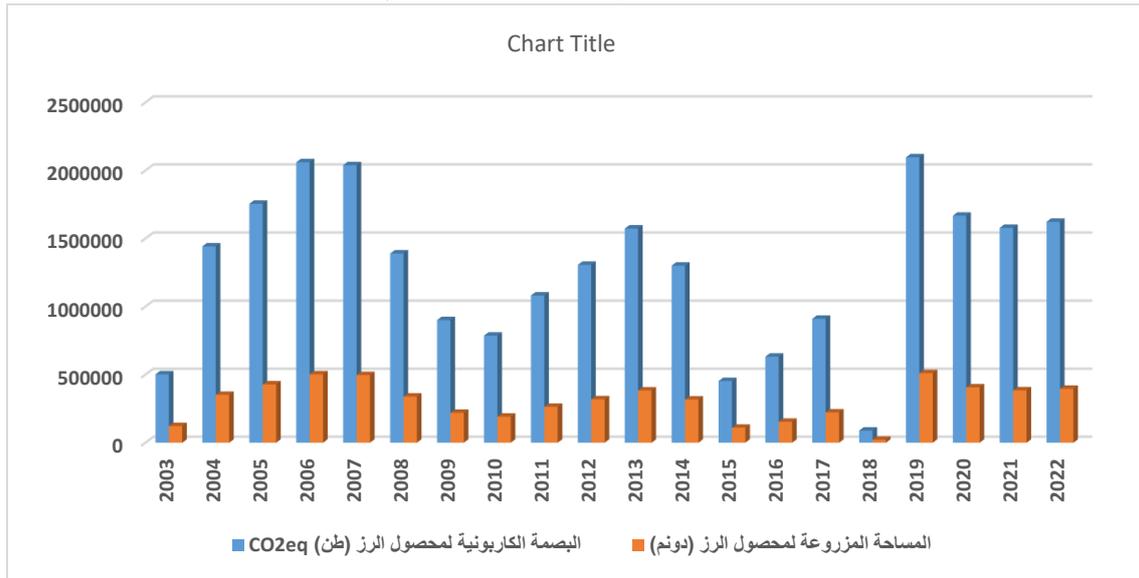
الميثان ( CH 4 ) مباشرة من خلال التمثيل الغذائي الميكروبي (Zhang et al., 2024:7) ، ومع مساحة زراعة الأرز العالمية البالغة 164 مليون هكتار، فإنها تساهم بنسبة 11% من انبعاثات الميثان البشرية المنشأ على المستوى العالمي ( He et al., 2024:5) ، أذ تؤدي زراعة الرز الى أنبعاث الغازات الدفيئة فهو مسؤول عن (10.1%) من إجمالي الانبعاثات الزراعية العالمية (Perry et al., 2024 :33) ، أذ تنبعث الغازات الدفيئة من زراعة محصول الرز أكثر بحوالي أربعة أضعاف من محصول القمح والذرة (Wang et al. , 2023 :107141) وفي العراق تبلغ إجمالي المساحة المزروعة لمحصول الرز حوالي (6144290) دونم يمكن قياس انبعاثات الغازات الدفيئة لها عن طريق البصمة الكربونية كما في الجدول (2) .

جدول (2) : المساحة المزروعة والبصمة الكربونية لمحصول الرز في العراق للمدة (2003-2022)

| السنة             | المساحة المزروعة لمحصول الرز (دونم)<br>(1) | البصمة الكربونية لمحصول الرز (طن CO <sub>2</sub> e)<br>(2) |
|-------------------|--|--|
| 2003              | 122500                                     | 502250   |
| 2004              | 351793                                     | 1442351.3  |
| 2005              | 428243                                     | 1755796.3  |
| 2006              | 502563                                     | 2060508.3  |
| 2007              | 497365                                     | 2039196.5  |
| 2008              | 339043                                     | 1390076.3  |
| 2009              | 219735                                     | 900913.5   |
| 2010              | 191895                                     | 786769.5   |
| 2011              | 263810                                     | 1081621  |
| 2012              | 318767                                     | 1306944.7  |
| 2013              | 383800                                     | 1573580  |
| 2014              | 317249                                     | 1300720.9  |
| 2015              | 110434                                     | 452779.4   |
| 2016              | 154247                                     | 632412.7   |
| 2017              | 222096                                     | 910593.6   |
| 2018              | 21702                                      | 88978.2  |
| 2019              | 511366                                     | 2096600.6  |
| 2020              | 406862                                     | 1668134.2  |
| 2021              | 384926                                     | 1578208.9  |
| 2022              | 395894                                     | 1623165.4  |
| المجموع           | 6144290                                    | 25191601.3   |
| المتوسط           | 307214.5                                   | 1259580.07   |
| أعلى قيمة         | 511366                                     | 2096600.6  |
| أدنى قيمة         | 21702                                      | 88978.2  |
| معدل النمو السنوي | -1.40%                                     | -1.40%   |

المصدر : وزارة التخطيط / الجهاز المركزي للأحصاء ، العمود (2) : تم احتسابه من قبل الباحثين .

## الشكل (2) : المساحة المزروعة والبصمة الكربونية لمحصول الرز في العراق للمدة (2003-2022)



المصدر : من عمل الباحثين بالأعتماد على بيانات الجدول (2) .

يتضح من الجدول (2) الأتي : - أن هنالك تذبذب في البصمة الكربونية لمحصول الرز إذ بلغت أعلى قيمة لها (2096600.6) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO2eq) في عام (2021) بسبب الزيادة في المساحة المزروعة لمحصول الرز في هذه السنة في حين بلغت أقل قيمة لها (88978.2) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO2eq) في عام (2018) بسبب تراجع المساحات المزروعة لمحصول الرز في هذه السنة والتي تعزى الى تقليص المساحات المزروعة لمحصول الرز من قبل السلطات العراقية بسبب أزمة الجفاف وشحة المياه التي تعاني منها البلاد مما أدى الى تراجع الغازات الدفيئة (البصمة الكربونية) لمحصول الرز بشكل كبير في هذه السنة ، أما بالنسبة لمجموع البصمة الكربونية لمحصول الرز خلال مدة الدراسة فقد بلغ (25191601.3) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO2eq) في حين بلغ المتوسط (1259580.065) طن ثاني أكسيد الكربون المكافئ (CO2eq) خلال مدة الدراسة وبمعدل نمو (-1.4%). كما يتضح من الجدول (2) ان إجمالي المساحة المزروعة لمحصول الرز في العراق خلال مدة الدراسة بلغت (6144290) دونم وأن أعلى قيمة لها (511366) دونم في عام (2019) وهي الأعلى منذ (20) عام إذ غطت (70%) من الإحتياج المحلي له ويعود السبب في ذلك الى تعديل قرار تقليص المساحات المزروعة لمحصول الرز في السنة السابقة بسبب الأزمة المائية التي تعاني منها البلاد والسماح بزراعته في محافظات إضافية لاسيما محافظتي ديالى وواسط ، أما أقل قيمة للمساحة المزروعة لمحصول الرز هي (21702) دونم في عام (2018) بسبب قرار وزارة الزراعة بحضر زراعة محاصيل الحبوب كثيفة الأستهلاك للمياه ومن ضمنها محصول الرز حيث قلصت المساحة المروية لزراعة محصول الرز الى النصف وسمحت للمزارعين بزراعته وفق مساحات محددة ووفق خطة زراعية مما أدى الى تراجع المساحة المزروعة لمحصول الرز بشكل كبير في هذه السنة ، أما بالنسبة للمتوسط فقد بلغ (307214.5) دونم وبمعدل نمو (-1.4%) خلال مدة الدراسة .

ثالثاً: الممارسات الزراعية التي تقلل من البصمة الكربونية في العراق :

- 1- أدرج زراعة البقوليات في الدورات الزراعية لتثبيت النيتروجين الجوي وأستبدال جزء من الأسمدة النيتروجينية غير العضوية في الأنتاج (Alhendi et al., 2018:79) .
- 2- العمل على إجراء الأختبارات السنوية للتربة لتحديد العناصر الغذائية المتبقية في التربة والنيتروجين المتمعدن المحتمل من المواد العضوية في التربة التي قد تكون متاحة للمحاصيل .
- 3- الألتزام بمعدل الأستخدام المناسب للأسمدة غير العضوية لتلبية الأحتياجات الغذائية للمحاصيل وتجنب الأفرط أو النقص في التسميد إذ يمكن أن يؤدي ذلك الى التقليل من البصمة الكربونية للمحاصيل الحقلية (Rathore et al., 2022:102) .

- 4- الأعتداع على الأنظمة الأكثر تكثيفاً لدورة المحاصيل وذلك لأحتجاز أكبر كمية من ثنائي أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي لتعويض أنبعاثات الكربون المرتبطة بمدخلات إنتاج المحاصيل (Gan et al. , 2014 :1) .
- 5- تحسين ممارسات الحراثة والتسميد لجعل النظم الزراعية أكثر أستخدمة من حيث أخضرارها وكفاءتها (Han et al., 2024:11).
- 6- تعزيز إدارة ممارسات زراعة التربة لتعزيز عزل الكربون العضوي في التربة وهو يعد أمراً بالغ الأهمية للتخفيف من انبعاثات غازات الدفيئة للمحاصيل الزراعية (8 : 2024 Assia et al., 2024) .

#### الاستنتاجات والتوصيات :

##### أولاً : الاستنتاجات :

- 1- يعتبر محصولي (القمح والرز) من المحاصيل ذات البصمة الكربونية العالية وتساهم بأنبعاث نسبة كبيرة من الغازات الدفيئة وهي من المحاصيل الاستراتيجية في العراق وتبين من خلال الدراسة ان مجموع البصمة الكربونية لمحصول القمح في العراق بلغت (510552340.1) خلال مدة الدراسة وهي أعلى من البصمة الكربونية لمحصول الرز والتي بلغت (25191601.3) والتي تعزى الى ارتفاع المساحة المزروعة لمحصول القمح مقارنة بالمساحة المزروعة لمحصول الرز .
- 2- تذبذب البصمة الكربونية لمحصولي (القمح والرز) في العراق خلال فترة الدراسة أذ بلغت اعلى قيمة للبصمة الكربونية لمحصول القمح (38803322.5) في عام (2021) واقل قيمه له (12931158.1) في عام (2018)، أما بالنسبة للبصمة الكربونية لمحصول الرز بلغت اعلى قيمة لها (2096600.6) عام (2021) واقل قيمة لها (8878.2) عام (2018) ، بسبب تذبذب المساحة المزروعة لمحصولي (القمح والرز) خلال الفترة المبحوثة والتي تعزى الى الازمة المائية التي يعاني منها العراق والتي أثرت بشكل مباشر على تذبذب المساحات المزروعة لهذين المحصولين من سنة الى اخرى بناءً على قرارات وزارة الزراعة في تقليص او زيادة مساحة الخطة الزراعية لمحصولي القمح والرز وفقاً للموارد المائية المتاحة في هذه السنة .

##### ثانياً: التوصيات :

- 1- أتباع الممارسات الزراعية المستدامة في عمليات الإنتاج الزراعي التي تعتمد على التخفيف من انبعاثات الغازات الدفيئة والحد من التلوث البيئي من خلال تقليل استخدام المواد الكيميائية وأستبدال الوقود الاحفوري بمصادر الطاقة المتجددة والصديقة للبيئة في العمليات الزراعية التي تقلل الضغط على التربة كالأعتداع على الطاقة الشمسية وتوربينات الرياح وكذلك تقليل أستخدم المبيدات الحشرية وتقليل تكرارات البور الصيفي.
- 2- تبني الممارسات الزراعية العضوية في عمليات الإنتاج الزراعي التي تعتمد على أستخدم الاسمدة غير العضوية بالاسمدة العضوية التي تعزز عزل التربة وتقلل من أنبعاثات الغازات الدفيئة وتعزز خصوبة التربة وتقلل من أستخدم مغذيات التربة .
- 3- تدريب العمال والمزارعين على انظمة الزراعة المستدامة من خلال تعليمهم وحثهم على تبني الممارسات الزراعية المستدامة في الزراعة التي تقوم على أستخدم التكنولوجيا الخضراء وأتباع الاساليب الصديقة للبيئة في العمليات الزراعية التي تقلل من البصمة الكربونية للمحاصيل الزراعية .

#### References

1. Alhendi, A. S., & Mohammed, H. E. (2018). Microbiological quality of wheat cultivated in many different regions of Iraq. Iraqi Journal of Science, 654-659.
2. Ali, S. A., Tedone, L., Verdini, L., & De Mastro, G. (2017). Effect of different crop management systems on rainfed durum wheat greenhouse gas emissions and carbon footprint under Mediterranean conditions. Journal of Cleaner Production, 140, 608-621.
3. Al-Mansour, F., & Jecic, V. (2017). A model calculation of the carbon footprint of agricultural products: The case of Slovenia. Energy, 136, 7-15.
4. Amiri, Hassan Mahmoud ghabben, Reihan, Mohammed Kamel . (2022) .Econometric analysis of wheat costs for farms in the northern region of Iraq . Egyptian Journal of agricultural economics, 32 (2) 520-529 .
5. Assia, H., Hanane, O., Tarik, B., & Abdallah, E. (2024). Sustainable Maize Production and Carbon Footprint in Arid Land Context: Challenges and Perspectives. New Prospects of Maize.



6. Astudillo, A. L., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., Arenas, F., & Sierra, B. E. (2014). Evaluating carbon footprint behavior in the agriculture and energy sectors: a review. *Sistemas y Telemática*, 12(31), 35-53.
7. Bhatti, U. A., Bhatti, M. A., Tang, H., Syam, M. S., Awwad, E. M., Sharaf, M., & Ghadi, Y. Y. (2024). Global production patterns: Understanding the relationship between greenhouse gas emissions, agriculture greening and climate variability. *Environmental Research*, 245, 118049.
8. Bista, D., Sapkota, S., Acharya, P., Acharya, R., & Ghimire, R. (2024). Reducing energy and carbon footprint in semi-arid irrigated cropping systems through crop diversification. *Heliyon*.
9. Boettcher, R., Zappe, A. L., de Oliveira, P. F., Machado, Ê. L., de Assis Lawisch-Rodriguez, A., & Rodriguez-Lopez, D. A. (2020). Carbon Footprint of agricultural production and processing of tobacco (*Nicotiana tabacum*) in southern Brazil. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100625.
10. Chen, X., Ma, C., Zhou, H., Liu, Y., Huang, X., Wang, M., ... & Zhang, F. (2021). Identifying the main crops and key factors determining the carbon footprint of crop production in China, 2001–2018. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105661.
11. Chu, T., Yu, L., Wang, D., & Yang, Z. (2022). Carbon footprint of crop production in Heilongjiang land reclamation area, China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 15(1), 182-191.
12. Cui, Y., Khan, S. U., Sauer, J., & Zhao, M. (2022). Exploring the spatiotemporal heterogeneity and influencing factors of agricultural carbon footprint and carbon footprint intensity: Embodying carbon sink effect. *Science of The Total Environment*, 846, 157507.
13. Dong, Y., Zhang, J., Xu, X., Dong, Q., Zhang, A., & Xiong, Z. (2024). Symbiotic nitrogen fixation enhanced crop production and mitigated nitrous oxide emissions from paddy crops. *Field Crops Research*, 307, 109261.
14. Ewaid, S. H., Abed, S. A., Chabuk, A., & Al-Ansari, N. (2021, April). Water footprint of rice in Iraq. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 722, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.1-17.
15. Fei, L., Pan, Y., Ma, H., Guo, R., Wang, M., Ling, N., ... & Guo, S. (2024). Optimal organic-inorganic fertilization increases rice yield through source-sink balance during grain filling. *Field Crops Research*, 308, 109285.
16. Forfora, N., Azuaje, I., Vivas, K. A., Vera, R. E., Brito, A., Venditti, R., ... & Gonzalez, R. (2024). Evaluating biomass sustainability: Why below-ground carbon sequestration matters. *Journal of Cleaner Production*, 439, 140677.
17. Fu, Z., Zhang, J., Jiang, J., Zhang, Z., Cao, Q., Tian, Y., ... & Liu, X. (2024). Using the time series nitrogen diagnosis curve for precise nitrogen management in wheat and rice. *Field Crops Research*, 307, 109259.
18. Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R. L., Campbell, C. A., & Zentner, R. P. (2014). Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, 5(1), 5012.
19. Guo, R., Qian, R., Naseer, M. A., Han, F., Zhang, P., Jia, Z., ... & Ren, X. (2024). Integrated straw-derived biochar utilization to increase net ecosystem carbon budget and economic benefit and reduce the environmental footprint. *Field Crops Research*, 307, 109247.
20. Han, K., Li, X., Jia, L., Yu, D., Xu, W., Chen, H., ... & Liu, P. (2024). Optimizing tillage and fertilization practices to improve the carbon footprint and energy efficiency of wheat-maize cropping systems. *Journal of Integrative Agriculture*.
21. Han, Y., Tan, Q., Zhang, T., Wang, S., Zhang, T., & Zhang, S. (2024). Development of an assessment-based planting structure optimization model for mitigating agricultural greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Management*, 349, 119322.
22. He, Z., Cao, H., Qi, C., Hu, Q., Liang, J., & Li, Z. (2024). Straw management in paddy fields can reduce greenhouse gas emissions: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 306, 109218.
23. Hilal, Y. Y., ELIÇIN, A. K., Sedeeq, A., & Shahin, A. A. (2023). Developing a model using neural networks to predict wheat production in the Kirkuk governorate. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 51(4), 106-118.
24. Holka, M., Kowalska, J., & Jakubowska, M. (2022). Reducing Carbon Footprint of Agriculture—Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change?. *Agriculture*, 12(9), 1383.
25. Jin, Z., Harrison, M. T., Liu, K., & Nie, L. (2024). Dry direct-seeded rice-wheat rotation system: Lower water and carbon footprint and higher carbon production efficiency and net ecosystem economic benefits. *Field Crops Research*, 309, 109323.
26. Kashyap, D., & Agarwal, T. (2021). Carbon footprint and water footprint of rice and wheat production in Punjab, India. *Agricultural Systems*, 186, 102959.
27. Liu, C., Cutforth, H., Chai, Q., & Gan, Y. (2016). Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 1-16.
28. Liu, W., Zhang, G., Wang, X., Lu, F., & Ouyang, Z. (2018). Carbon footprint of main crop production in China: Magnitude, spatial-temporal pattern and attribution. *Science of the Total Environment*, 645, 1296-1308.
29. Lu, C., & Yu, Z. (2018, August). Carbon footprint of grain crop production in the US Western Corn Belt. In 2018 ESA Annual Meeting (August 5--10). ESA.
30. Miao, Z., Zhao, Z., Long, T., & Chen, X. (2023). Carbon footprint in agriculture sector: a literature. 1(3), 1-19 .



31. Mohanty, S., Saha, S., Saha, B., Asif, S. M., Poddar, R., Ray, M., ... & Hazra, G. (2024). Substitution of fertilizer-N with biogas slurry in diversified rice-based cropping systems: Effect on productivity, carbon footprints, nutrients and energy balance. *Field Crops Research*, 307, 109242.
32. Naresh, R. K., Singh, P. K., Bhatt, R., Chandra, M. S., Kumar, Y., Mahajan, N. C., ... & Mattar, M. A. (2024). Long-term application of agronomic management strategies effects on soil organic carbon, energy budgeting, and carbon footprint under rice–wheat cropping system. *Scientific Reports*, 14(1), 337.
33. Ning, J., Zhang, C., Hu, M., & Sun, T. (2024). Accounting for Greenhouse Gas Emissions in the Agricultural System of China Based on the Life Cycle Assessment Method. *Sustainability*, 16(6), 2594.
34. Ozlu, E., Arriaga, F. J., Bilen, S., Gozukara, G., & Babur, E. (2022). Carbon footprint management by agricultural practices. *Biology*, 11(10), 1453.
35. Perry, H., Carrijo, D. R., Duncan, A. H., Fendorf, S., & Linqvist, B. A. (2024). Mid-season drain severity impacts on rice yields, greenhouse gas emissions and heavy metal uptake in grain: evidence from on-farm studies. *Field Crops Research*, 307, 109248.
36. Peter, C., Helming, K., & Nendel, C. (2017). Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices?—A review of carbon footprint calculators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 461-476.
37. Rathore, S. S., Babu, S., Shekhawat, K., Singh, R., Yadav, S. K., Singh, V. K., & Singh, C. (2022). Designing energy cum carbon-efficient environmentally clean production system for achieving green economy in agriculture. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102190.
38. SaberiKamarposhti, M., Why, N. K., Yadollahi, M., Kamyab, H., Cheng, J., & Khorami, M. (2024). Cultivating a sustainable future in the artificial intelligence era: A comprehensive assessment of greenhouse gas emissions and removals in agriculture. *Environmental Research*, 118528.
39. Sah, D., & Devakumar, A. S. (2018). The carbon footprint of agricultural crop cultivation in India. *Carbon Management*, 9(3), 213-225.
40. Wang, P., Yu, A., Li, Y., Wang, Y., Lyu, H., Wang, F., ... & Chai, Q. (2024). Reducing nitrogen application by 20% under the condition of multiple cropping using green manure after wheat harvesting can mitigate carbon emission without sacrificing maize yield in arid areas. *Field Crops Research*, 306, 109232.
41. Wang, X., & Zhang, Y. (2019). Carbon footprint of the agricultural sector in Qinghai Province, China. *Applied Sciences*, 9(10), 2047.
42. Wang, X., Chang, X., Ma, L., Bai, J., Liang, M., & Yan, S. (2023). Global and regional trends in greenhouse gas emissions from rice production, trade, and consumption. *Environmental Impact Assessment Review*, 101, 107141.
43. Wang, X., Chen, Y., Chen, X., He, R., Guan, Y., Gu, Y., & Chen, Y. (2019). Crop production pushes up greenhouse gases emissions in China: evidence from carbon footprint analysis based on national statistics data. *Sustainability*, 11(18), 4931.
44. Xu, X., Bi, R., Song, M., Dong, Y., Jiao, Y., Wang, B., & Xiong, Z. (2024). Organic substitutions enhanced soil carbon stabilization and reduced carbon footprint in a vegetable farm. *Soil and Tillage Research*, 236, 105955.
45. XUE, J., XU, M., & ZHANG, J. (2024). Proceedings in carbon footprint research of food systems. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*..
46. Yan, M., Cheng, K., Luo, T., Yan, Y., Pan, G., & Rees, R. M. (2015). Carbon footprint of grain crop production in China—based on farm survey data. *Journal of Cleaner Production*, 104, 130-138.
47. Yang, X., Gao, W., Zhang, M., Chen, Y., & Sui, P. (2014). Reducing agricultural carbon footprint through diversified crop rotation systems in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production*, 76, 131-139. .
48. Zhang, D., Shen, J., Zhang, F., Li, Y. E., & Zhang, W. (2017). Carbon footprint of grain production in China. *Scientific reports*, 7(1), 4126.
49. Zhang, G., Wang, X., Zhang, L., Xiong, K., Zheng, C., Lu, F., ... & Ouyang, Z. (2018). Carbon and water footprints of major cereal crops production in China. *Journal of Cleaner Production*, 194, 613-623.
50. Zhang, L., Jiang, G., Xiao, R., Hou, K., Liu, X., Liu, X., ... & Han, Y. (2024). An appropriate amount of straw replaced chemical fertilizers returning reduced net greenhouse gas emissions and improved net ecological economic benefits. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140236.