African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 4, Issue 4, 2025
Page No: 712-721
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2025: 1.126 **SJIFactor 2024: 6.752** **معامل التأثير العربي: 1.62**

Estimating and comparing the concentration of some heavy metals in local and imported red pepper powder available in the markets of Bani Walid

Omassad. F. omar *
Department of Chemistry, Faculty of Science, Bani Waleed University, Bani Walid, Libya

تقدير ومقارنة تركيز بعض العناصر الثقيلة في مسحوق الفلفل الاحمر المحلي والمستورد المتوفر في اسواق مدينة بني وليد

ام السعد فرج عمر *
قسم الكيمياء كلية العلوم، جامعة بني وليد، بني وليد، ليبيا

*Corresponding author: : omassdomar@gmail.com

Received: September 28, 2025	Accepted: December 06, 2025	Published: December 17, 2025

Abstract
The moisture, ash, and fiber content were studied using analytical methods approved by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1992), in addition to the concentrations of one element (cadmium, lead, and copper) in three types of red pepper (local, Indian, Spanish). The samples were obtained from local markets and mills in the city of Bani Walid and were randomly selected due to their abundance. The results showed that Indian red pepper has the highest ash content (10.96%) and the highest copper concentration (0.178 mg/kg) with the lowest moisture content (6.26%). This reflects the effect of drying processes in increasing mineral content. Meanwhile, Spanish peppers were characterized by the highest fiber content (36.5%), indicating a denser cellular structure and higher fiber content. As for Libyan pepper, it showed a remarkable chemical balance between the percentage of ash (8.86%), moisture (11.69%), and fiber (35%), along with moderate levels of mineral elements. This makes it an average model in terms of quality and food safety. The very low values of heavy metals, Cadmium <0.001, Lead ≤0.186 (mg/kg), confirm the safety of the samples and their freedom from contaminants within the limits recommended by the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO), making the three types of red pepper safe for human consumption.

Keywords: Heavy metals, Spices, Red pepper, Globally permissible limits.

الملخص
تم دراسة نسبة الرطوبة والرماد والألياف باستخدام طرق التحليل المعتمدة من (Association of official Analytical Chemist AOAC,1992) بالإضافة إلى تراكيز العناصر الثقيلة (الكادميوم ,والرصاص ,والنحاس) في ثلاثة أنواع من الفلفل الأحمر (المحلي ,الهندي ,الإسباني) ، جلبت العينات من الأسواق المحلية والمطاحن في مدينة بني وليد واختيرت عشوائيا بسبب وفرتها, حيث أظهرت النتائج أن الفلفل الأحمر الهندي يحتوي على أعلى نسبة رماد (10.96%) وأعلى تركيز نحاس (0.178 mg/kg) مع أقل محتوى رطوبة (6.26 %) ، مما يعكس تأثير عمليات التجفيف في زيادة المحتوى المعدني. بينما تميز الفلفل الإسباني بأعلى محتوى ألياف (36.5 %) مما يشير إلى بنية خلوية أكثر كثافة وغنى بالألياف الغذائية. أما الفلفل الليبي فقد أظهر توازنا كيميائيا ملحوظا بين نسبة الرماد (8.86 %) والرطوبة (11.69 %) والألياف (35 %)،إلى جانب مستويات معتدلة من العناصر المعدنية، مما يجعله نموذجًا متوسطًا في الجودة والسلامة الغذائية. والقيم المنخفضة جدًا للعناصر الثقيلة الكادميوم 0.001>، والرصاص 0.186≥ (mg/kg) تؤكد سلامة العينات وخلوها من الملوثات ضمن الحدود التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية (WHO) ومنظمة الأغذية والزراعة (FAO) ، مما يجعل الأنواع الثلاثة من الفلفل الأحمر آمنة للاستهلاك البشري.

الكلمات المفتاحية: العناصر الثقيلة، التوابل، الفلفل الاحمر، الحدود المسموح بها عالميا.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمة

تعد التوابل الجزء الجاف من النبات كالجذور والأوراق والبذور التي تمنح للطعام نكهة مميزة ومحفزات لاذعة [1] وتمثل التوابل جميع أجزاء النبات الصالحة للأكل المستخدمة في إضافة النكهة أو تلوين الأطعمة، وتشمل الفاكهة أو البذور أو الجذر أو اللحاء أو أجزاء أخرى من النبات[2] غالبًا ما تستعمل بعض التوابل كمادة حافظة ضد نمو وعمل البكتيريا الضارة [3] .

تستخدم التوابل على نطاق واسع في الطهي لتعزيز نكهة الخضروات والشوربات والأطباق المقلية والمشروبات .وتستخلص عادة من اللحاء أو البراعم أو الأزهار أوا لأوراق والتمار والبذور أو جذور بعض النباتات. حيث صنفت البهارات والتوابل في مجموعة واحدة، وقد أوضحت المنظمة الدولية للمعايير (ISO) أن مصطلح التوابل يشير إلى منتجات نباتية أو خضرية طبيعية أو خليط منها ,تستعمل لإضفاء رائحة ونكهة مميزة على الطعام وتتبيله [4] كما تتميز العديد من التوابل بأن لها بعض الخصائص الطبية بسبب احتوائها على مضادات للأكسدة ومضادات الميكروبات [5] . كما وجد أن لها فاعليه في مكافحة بعض الأمراض المزمنة كمرض السكري وارتفاع ضغط الدم والالتهابات [6]. وأشير إلى أن بعض انواع التوابل مثل الفلفل والخردل تحتوي على كميات كبيرة من بعض المعادن النادرة [7] تلعب هذه المعادن النادرة دورًا حيويًا كمكونات هيكلية ووظيفية للبروتينات المعدنية والإنزيمات داخل الخلايا الحية [8]. وتظهر الدراسات زيادة ملحوظة في استهلاك التوابل والأعشاب الأخرى في مختلف أنحاء العالم ,لما لها من فوائد صحية وتغذوية متعددة. إلا أن الإفراط في استخدام هده التوابل قد يؤدي إلى تراكم هذه المعادن الثقيلة في السلسلة الغذائية , حيث أن تراكم هده المعادن فوق الحد المسموح به يكون له مخاطر صحية على المدى المتوسط والطويل مما يحتم ضرورة مراقبة مصادرها وجودتها بشكل دوري صارم [9] حيث أن ارتفاع هده المعادن في الجسم قد يسبب الكثير من الأمراض كالإجهاض, والولادة المبكرة, وضعف النمو العقلي للأطفال ومشاكل في الكلى والدماغ للبالغين. ورغم أن بعض المعادن تعد ضرورية لصحة الانسان مثل الحديد والنحاس والزنك إلا أن زيادة تركيزها عن الحد الطبيعي قد تجعلها سامة وتؤدي إلى أضرار جسيمة, في حين أن الزئبق والرصاص والكادميوم وغيرها من المعادن الثقيلة سامة حتى عند مستويات منخفضة جدًا[10].

ومن اهم هده التوابل الفلفل الحار، وهو جزء من جنس الفليفلة أحد أفراد عائلة الباذنجانيات وموطنه الأصلي أمريكا الوسطى والمكسيك ، يتميز بتنوع طرق استخداماته إذ يمكن تناوله طازجا أو مطهو أو مجففا ، أو معالجته وتحويله إلى مسحوق ، أو صلصة ، أو زيت الفلفل الحار[12-11]. ويشتهر الفلفل الحار بخصائصه الصحية المتعددة فهو يحفز الشهية ويساعد على الهضم، ويعتبر غني بالعناصر الغذائية الأساسية مثل الكابسيسين والفيتامينات (C,A) والبروتينات الضرورية لصحة الإنسان[11]. كما أظهرت الدراسات أن الكابسيسين (المركب الحيوي الرئيسي في الفلفل الحار) خصائص مضادة للأكسدة ومقاومة للالتهابات وقد تساهم في الوقاية من بعض أنواع السرطان[13].

ويحظى الفلفل الحار المجفف بشعبية كبيرة نظرًا لنكهته المميزة مما يجعله من التوابل المفضلة لدى الليبيين عامة وسكان منطقة الدراسة خاصة، وانطلاقًا من ذلك خططنا لدراستنا الحالية للتحقيق في تركيز بعض المعادن الثقيلة (مثل النحاس والكادميوم والرصاص) في عينات من مسحوق الفلفل الحار الأحمر المنتج محليًا، ومقارنته بمسحوق الفلفل الحار الأحمر الهندي، والإسباني المتوفرة في أسواق مدينة بني وليد.

أهمية البحث :-

تكمن أهمية هذه الدراسة في عدة جوانب من أبرزها:-

1-**ضمان السلامة الغذائية** :ويتم ذلك عن طريق الكشف عن تراكيز المعادن الثقيلة (الكادميوم والرصاص والنحاس) ومقارنتها بالحدود المسموح بها وفقا للمعايير الدولية مما يساهم في حماية المستهلك من المخاطر الصحية المرتبطة بالتلوث المعدني .

2- **تقييم القيمة الغذائية** :وذلك عبر تحليل مكونات مهمه مثل الرماد (مؤشر للمعادن الكلية)الألياف ,والرطوبة ,مما يساهم في تصنيف الفلفل وفقا لجودته الغذائية.

3-**دعم الرقابة الغذائية المحلية** :ويتم ذلك من خلال توفير بيانات علمية دقيقة حول الفلفل المحلي والمستورد بما يعزز دور الجهات الرقابية في اتخاذ قرارات مستندة إلى الأدلة .

4-**المقارنة بين المصادر المختلفة** :حيث تتيح الدراسة مقارنة تركيب الفلفل المحلي بالمستورد (الهندي والإسباني) مما يدعم قرارات الاستيراد والترويج للمنتج المحلي في حال تميزه.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

أهداف البحث:

1-مقارنة نسب الرماد والرطوبة والألياف بين أنواع الفلفل الثلاثة .

2-تقدير تراكيز العناصر الثقيلة Pb,Cu,Cd في مسحوق الفلفل الأحمر.

3-مقارنة التراكيز الناتجة بين مسحوق الفلفل الأحمر المحلي والمستورد (الهندي –الإسباني).

4-مقارنة تراكيز هذه العناصر أيضا بالتراكيز المسموح بها في المواصفات والمعايير الدولية .

الدراسات السابقة:-

في دراسة [14] هدفت لتقييم بعض المعادن الثقيلة في الفلفل الحار المجفف من تسع مناطق بمقاطعة قويتشو أظهرت النتائج أن الرصاص (0.8949 ppm ±0.266) سجل أعلى تركيز يليه الكادميوم (0.0627ppm ±0.017) مما يشير إلى عدم وجود مخاطر صحية كبيرة مرتبطة باستهلاك الفلفل الحار المجفف. أما في دراسة [15] لتقييم المخاطر الصحية لتركيزات المعادن الثقيلة في التوابل التي يتم الحصول عليها من الأسواق في طهران إيران كانت كل التراكيز ضمن الحدود المسموح بها عالميا. وقد أوضحت نتائج دراسة [16] للكشف عن بعض المعادن الثقيلة في أنواع مختلفة من التوابل المتوفرة في الأسواق المحلية في محافظة اللاذقية أن أعلى نسبة للزنك كانت في الفلفل الأحمر 2.64ppm وأن مستويات العناصر الثقيلة في هذه التوابل كانت مقبولة وضمن الحدود القياسية المعتمدة من قبل منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة.

في حين وجد في الدراسة [17] لتقدير تركيز العناصر الثقيلة في بعض أنواع التوابل المباعة في الأسواق المحلية في منطقتي الأصابعة وتغسات أن تراكيز معظم هده العناصر دون الحدود المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) إلا عنصري Cd,Cr فقد كانت كمياتهما أعلى من الحد المسموح به من WHO في الغالبية العظمى من التوابل قيد البحث. وفي دراسة [18] لتقدير تركيز ومقارنة العناصر الثقيلة في التوابل والبهارات من محلات مدينتي صبراتة وصرمان كان تركيز الرصاص أعلى من المسموح بها عالميا ≤10ppm في أغلب العينات المدروسة ,أما تركيز الكوبلت فكان أعلى من المسموح به عالميا في عينة مسحوق الفلفل الأحمر من مدينة صرمان (≤50ppm).

وأوضحت الدراسة [19] لتقدير بعض المعادن الثقيلة في أنواع التوابل المتوفرة في الأسواق المحلية بمنطقة وادي الشاطئ جنوب ليبيا أن تركيز الكادميوم في الفلفل الأحمر وحبة البركة والفلفل الأكحل والكروية كانت دون حدود الكشف وهي تقع ضمن الحدود المسموح بها, وكان تركيز الكادميوم في باقي العينات تجاوز الحد الأقصى المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة .ودلت النتائج على وجود تركيز مرتفع من الرصاص في بعض العينات التي تجاوزت الحد المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة ,في حين كان تركيز الرصاص دون حد الكشف في عينات الفلفل الأحمر وحبة البركة والزنجبيل والفلفل الأكحل والكروية .

وفي دراسة [20] لتعيين تركيز الرصاص والزئبق في مجموعة من التوابل في السوق المحلية في مدينة طرابلس تراوح تركيز الرصاص في كل العينات بين(12.58-0.086 ppm) ,أما عنصر الزئبق قد تراوح تركيزه بين (0.037 ppm-3.338) مما يشير إلى أنه بالرغم من أن تركيزي الرصاص والزئبق في معظم عينات التوابل التي تشملها الدراسة كانت قريبة من الحد المسموح به إلا أن استهلاكها بشكل يومي وبكميات كبيرة قد يشكل خطرا على حياة المستهلك نتيجة لتراكمها بالجسم على المدى الطويل .

المواد والطرق:

جمع العينات

تم جمع العينات من داخل مدينة بني وليد في شهر اغسطس(2025)مشتملة على الفلفل الأحمر المحلي والمستورد وكانت كل العينات على هيئة مساحيق وقد جمعت بعضها من مطاحن مختلفة والبعض الأخر من الأسواق .

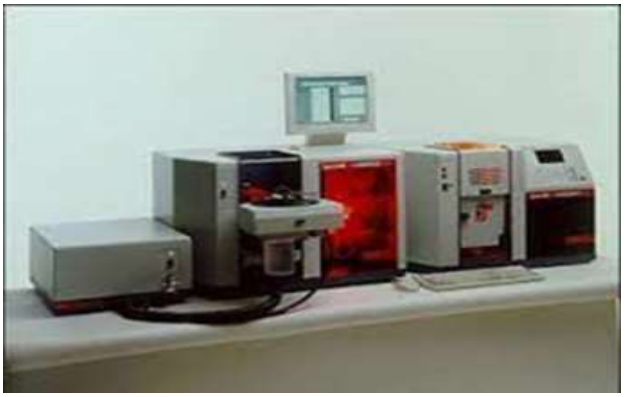
1-تقدير محتوى الرطوبة :-وزنت كمية من العينة (2-5جرام) في جفنة معدنية موزونة مسبقا وجففت العينة في فرن التجفيف عند درجة حرارة 105م^0 لمدة 4 ساعات وبعد انتهاء التجفيف تركت العينة لتبرد ثم وزنت الجفنة المحتوية على العينة بعد التبريد [21].

2-تقدير الرماد:- وضع (حوالي 5جرام) من العينة في فرن الحرق عند درجة حرارة 550م^0 لمدة 6 ساعات حتى تبقت فقط المادة المعدنية (الرماد)تم تركت لتبرد ثم وزنت وحسبت نسبة الرماد. [21]

3-تقدير نسبة الألياف :- وزن اجرام من العينة وتمت اذابتها في محلول من هيدروكسيد الصوديوم لتحليل الألياف القابلة للذوبان . ثم فلتر المحلول، حيث ثم جمع الرواسب غير القابلة للذوبان في المرشح, وتمت إضافة محلول حمض الهيدروكلوريك لإذابة كل المواد القابلة للإذابة بالحامض, وغسلت العينة عدة مرات بالماء الخالي من الاملاح وتم ترسيب الألياف القابلة للذوبان في المحلول عبر التبريد أو بإضافة كحول الإيثانول, وتم ترسيب الالياف الغير الذائبة بالحامض والقاعدة بالكشط ووضعها في زجاجة ساعة لغرض التجفيف وإزالة المياه عند درجة حرارة 105 م^0 [21] .

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

4-تقدير العناصر الثقيلة:- ثم هضم العينات بطريقة الهضم الرطب [22].حيث ثم وزن 0.5-1 جرام من العينة في أنابيب الهضم وأضيف 10ملليلتر من حمض النيتريك و 1مل من حمض الهيدروكلوريك وسخنت حتى يتم الهضم الكامل في درجة حرارة 150 م^0 لمدة ساعتين ثم رشح المحلول لإزالة الشوائب وخفف حجم العينة إلى 25 مل باستخدام الماء الخالي من الأيونات ,ثم ثم تقدير العناصر الثقيلة (رصاص نحاس كاديوم) باستخدام جهاز الامتصاص الذري جهاز AAS Atomic Absorption Spectrophotometerنوع Virian Spectr نوع 2G مزود بفرن جرافيتي .
تم اعداد عينة المقارنة(blank) بنفس طريقة اعداد العينات.



التحليل الإحصائي (Statistical Analysis):
تم تمثيل البيانات على هيئة المتوسط الحسابي والانحراف المعياري (±SD) لثلاث مكررات لكل عينة. تم إجراء تحليل التباين الأحادي الاتجاه (One-Way ANOVA) لاختبار وجود فروق معنوية بين أنواع الفلفل الثلاثة من حيث المكونات الكيميائية (الرماد، الرطوبة، الألياف، الكاديوم، الرصاص، والنحاس). وعند وجود فروق معنوية، تم تطبيق اختبار دنكن (Duncan's Multiple Range Test)لتحديد مصدر الاختلاف بين المتوسطات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) الإصدار.(22) تم اعتماد مستوى الدلالة الإحصائية عند ($P < 0.05$) و**($P < 0.01$)**. كما تم تحليل معاملات الارتباط (Pearson's correlation) لتحديد طبيعة العلاقة بين المتغيرات الكيميائية، إضافة إلى تنفيذ تحليل المكونات الرئيسية (PCA) لتحديد المتغيرات الأكثر تأثيرًا في التباين الكلي بين الأنواع الثلاثة من الفلفل الأحمر.

1-نتائج التحليل الكيميائي
يتضح من الجدول (1)أن الفلفل الهندي سجّل أعلى نسبة رماد بلغت (10.96%)مقارنة بالليبي (8.86%) والإسباني (8.49%)، مما يشير إلى غناه النسبي بالمعادن. في المقابل، أظهرت الرطوبة انخفاضًا ملحوظًا في الفلفل الهندي (6.26%) مقارنة بالليبي (11.69%) والإسباني(10.11%) ، وهو ما يعكس اختلافًا في أساليب التجفيف المستخدمة. أما الألياف فكانت الأعلى في الفلفل الإسباني (36.50%) تليه الليبي (35.00%) ثم الهندي(33.20%) ، ما يدل على اختلاف التركيب الخلوي بين الأنواع. تراكيز العناصر الثقيلة (الكاديوم 0.001>، الرصاص 0.110–0.186 mg/kg ، النحاس 0.016–0.178 mg/kg)كانت ضمن الحدود المسموح بها، مما يدل على سلامة العينات من التلوث المعدني.

الجدول (1): النسب المئوية للمكونات الكيميائية في أنواع الفلفل الأحمر الثلاثة

المكوّن (Test)	وحدة القياس	فلفل أحمر ليبي	فلفل أحمر هندي	فلفل أحمر إسباني
الرماد (Ash)	% Weight	8.86	10.96	8.49
الرطوبة (Moisture)	% Weight	11.69	6.26	10.11
الألياف (Fiber)	% Weight	35.00	33.20	36.50
الكاديوم (Cadmium)	mg/kg	0.001>	0.001>	0.001>
الرصاص (Lead)	mg/kg	0.186	0.001>	0.110
النحاس (Copper)	mg/kg	0.115	0.178	0.016

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

2-الإحصاء الوصفي (Descriptive Statistics)

أظهر التحليل الوصفي أن أعلى تباين سُجل في الرطوبة (SD = 2.80) بما يعكس تفاوتًا في محتوى الماء بين الأنواع الثلاثة، بينما كانت الألياف أكثر تجانسًا .(SD = 1.69) بلغ المتوسط العام للرماد 9.44 %، وللرطوبة 9.35 %، وللألياف 34.9%، مما يشير إلى توازن نسبي في المكونات الأساسية. أما تركيزات الرصاص (0.099 mg/kg) والنحاس (0.103 mg/kg)فكانت منخفضة جدًا مما يعكس جودة بيئية عالية في مصادر النمو.

الجدول (2): الإحصاء الوصفي للمكونات الكيميائية في الفلفل الأحمر

المتغير	المتوسط العام	الانحراف المعياري (SD)	المدى (Range)
الرماد (Ash)	9.44	1.12	2.47
الرطوبة (Moisture)	9.35	2.80	5.43
الألياف (Fiber)	34.90	1.69	3.30
الرصاص (Lead)	0.099	0.093	0.185
النحاس (Copper)	0.103	0.082	0.162

3 -نتائج تحليل التباين الأحادي(One-Way ANOVA)

فسّر المكونان الرئيسيان حوالي 95.4 % من التباين الكلي. ارتبط المكون الأول (PC1) بالمحتوى المعدني (Ash, Cu, Pb)، بينما عبّر المكون الثاني (PC2) عن الصفات البنيوية مثل الألياف والرطوبة. الفلفل الهندي تميّز بارتفاع الرماد والنحاس وانخفاض الرطوبة، بينما تفوق الإسباني في الألياف، وأظهر الليبي توازنًا نسبيًا بين الصفات الكيميائية، مما يعكس تكيفًا بيئيًا معتدلًا.

الجدول (3): نتائج تحليل التباين الأحادي(ANOVA)

المتغير	قيمةF	مستوى الدلالة(p-value)	التفسير
الرماد(Ash)	8.72	0.014	فرق معنوي بين الأنواع الثلاثة
الرطوبة(Moisture)	15.36	0.005	فرق معنوي واضح جدًا
الألياف(Fiber)	2.48	0.158	لا يوجد فرق معنوي
الرصاص(Lead)	6.20	0.031	فرق معنوي دال
النحاس(Copper)	9.85	0.011	فرق معنوي مهم

بيّنت نتائج ANOVA وجود فروق معنوية بين الأنواع الثلاثة في محتوى الرماد (F = 8.72, p = 0.014) والرطوبة (F = 15.36, p = 0.005)والنحاس (F = 9.85, p = 0.011) والرصاص(F = 6.20, p = 0.031) ، في حين لم تُسجّل فروق معنوية في الألياف .(F = 2.48, p = 0.158) تُظهر هذه النتائج أن الفروق الكيميائية بين الأنواع تعود بالأساس إلى المكونات المعدنية والرطوبة أكثر من الألياف.

4-تحليل المكونات الرئيسية (Principal Component Analysis – PCA)

أظهر المكونان الرئيسيان حوالي 95.4 %من التباين الكلي ارتبط المكون الأول (PC1) بالمحتوى المعدني (Ash, Cu, Pb)، بينما عبّر المكون الثاني (PC2) عن الصفات البنيوية مثل الألياف والرطوبة. الفلفل الهندي تميّز بارتفاع الرماد والنحاس وانخفاض الرطوبة، بينما تفوق الإسباني في الألياف، وأظهر الليبي توازنًا نسبيًا بين الصفات الكيميائية، مما يعكس تكيفًا بيئيًا معتدلًا.

الجدول (4): تحليل المكونات الرئيسية(PCA)

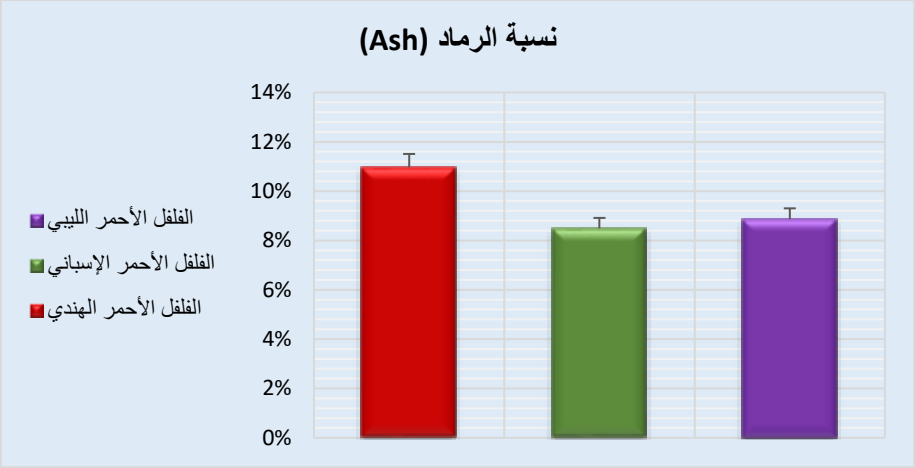
المتغير	PC1	PC2	التفسير
الرماد(Ash)	+0.72	-0.40	مرتبط بالمحتوى المعدني
الرطوبة(Moisture)	-0.81	+0.22	علاقة عكسية مع المعادن
الألياف(Fiber)	+0.35	+0.68	تمثل البنية النباتية
الرصاص(Lead)	+0.60	+0.05	مرتبط بالعناصر المعدنية
النحاس(Copper)	+0.79	-0.12	مؤشر للمحتوى المعدني

1 - نسبة الرماد (Ash)

أظهرت القيم الأصلية لمحتوى الرماد اختلافات واضحة بين الأنواع الثلاثة من الفلفل الأحمر؛ حيث سجّل الفلفل الأحمر الهندي أعلى قيمة بلغت 10.96%، يليه الفلفل الليبي بنسبة 8.86%، ثم الفلفل الأسباني بنسبة 8.49%. يشير هذا التفاوت إلى أن الفلفل الهندي يحتوي على كمية أكبر من الأملاح المعدنية والعناصر غير العضوية، مما يعكس اختلافًا في نوع التربة

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

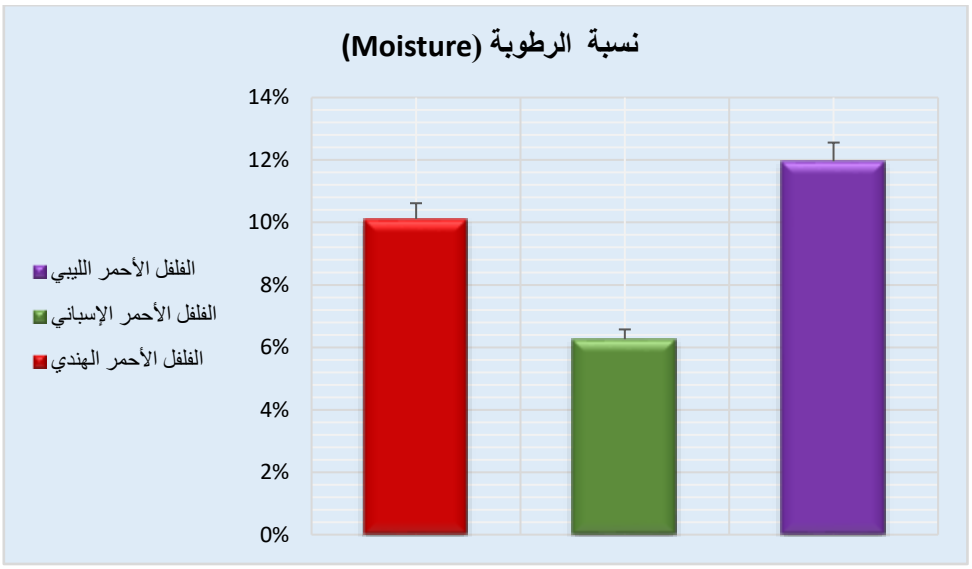
أو طرق التجفيف والتسميد. ويُعد ارتفاع محتوى الرماد مؤشرًا على زيادة تراكم العناصر المعدنية المفيدة مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والحديد في العينات [24] .



شكل :(1) نسبة الرماد في أنواع الفلفل الثلاثة.

2-نسبة الرطوبة (Moisture)

أوضحت النتائج أن أعلى نسبة رطوبة كانت في الفلفل الليبي (11.69%) تليها الإسباني(10.11%) ، في حين سجّل الفلفل الهندي أدنى قيمة .(6.26%) انخفاض الرطوبة في الفلفل الهندي يشير إلى جودة تجفيف أعلى ومحتوى مائي منخفض، مما يمنحه فترة حفظ أطول ويقلل فرص النمو الميكروبي. أما ارتفاع الرطوبة في الفلفل الليبي والأسباني فقد يدل على احتفاظ العينات بجزء من الماء بعد التجفيف، أو اختلاف درجة التجفيف المستخدمة [25].



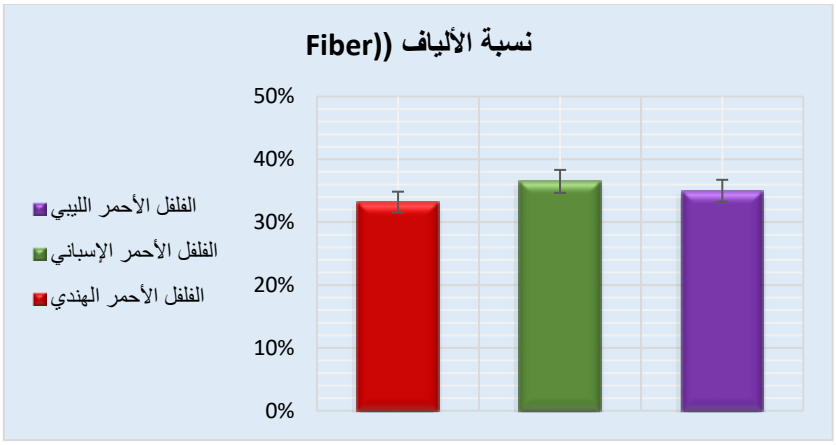
شكل :(2) نسبة الرطوبة في أنواع الفلفل الثلاثة

.

3-نسبة الألياف (Fiber)

سجّل الفلفل الأحمر الأسباني أعلى نسبة ألياف بلغت (36.50%)، يليه الفلفل الليبي (35.00%) ثم الفلفل الهندي (33.20%) تُظهر هذه النتائج أن الفلفل الإسباني يمتاز بتركيب خلوي أكثر صلابة وغنى بالألياف الغذائية، ما يجعله مصدرًا غذائيًا جيدًا للألياف التي تساعد في تعزيز صحة الجهاز الهضمي وخفض مستويات الكوليسترول [26]كما قد يُعزى ارتفاع الألياف في الفلفل الإسباني إلى مرحلة النضج أو اختلاف الصنف المزروع وخصائص البيئة الزراعية.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



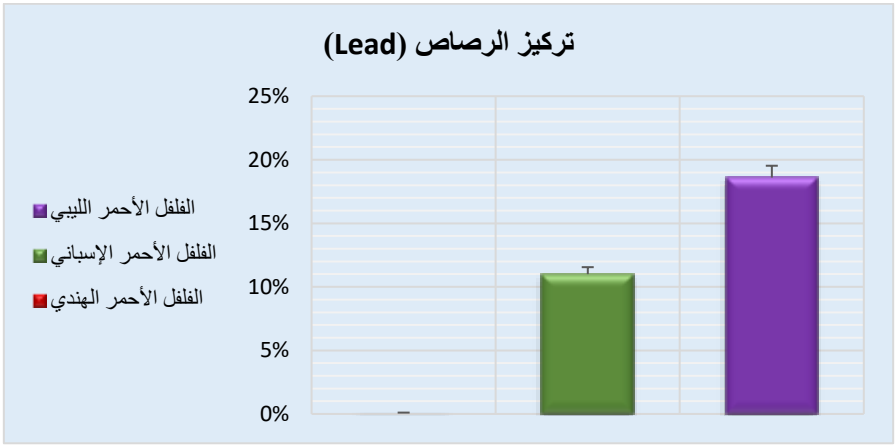
شكل :(3) نسبة الألياف في أنواع الفلفل الثلاثة.

4-الكاديوم (Cadmium)

أظهرت جميع العينات قيمًا منخفضة جدًا من الكاديوم بلغت أقل من 0.001 mg/kg، وهي أقل بكثير من الحدود المسموح بها عالميًا(0.3 mg/kg). يشير ذلك إلى خلو الفلفل الأحمر من التلوث المعدني الخطير وسلامة بيئة الزراعة من مصادر ملوثة مثل مياه الري أو الأسمدة الصناعية الثقيلة [27].

5-الرصاص(Lead)

بيّنت النتائج أن أعلى تركيز من الرصاص وُجد في الفلفل الليبي(0.186 mg/kg) ، تليه العينة الإسبانية(0.110 mg/kg) ، في حين كانت القيمة في الفلفل الهندي أقل من حد الكشف (< 0.001 mg/kg) .هذه النتائج تشير إلى احتمالية وجود تلوث طفيف في بعض العينات نتيجة العوامل البيئية أو الغبار أثناء التجفيف، إلا أن القيم تبقى ضمن الحدود الموصى بها من قبل الهيئات الدولية (10 mg/kg)، مما يدل على مأمونية الاستهلاك [28] .

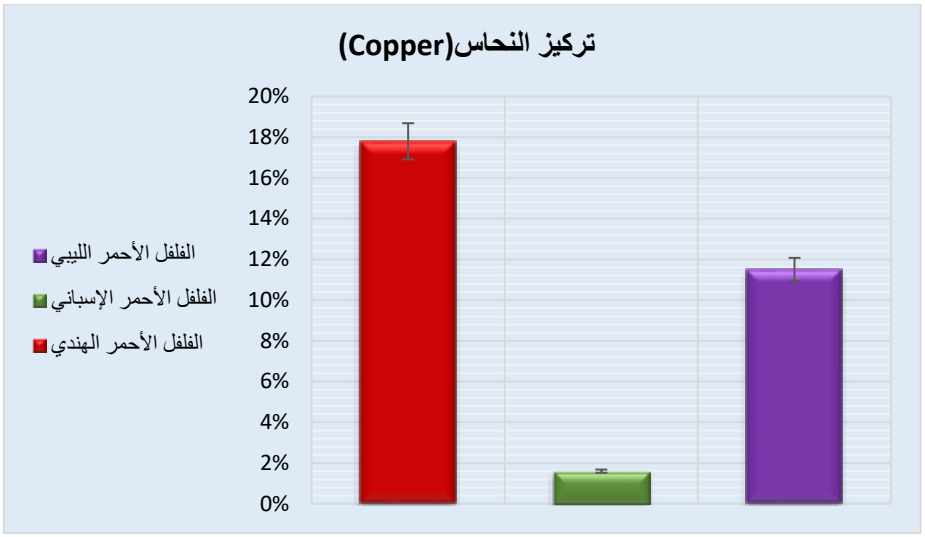


شكل :(4) تركيز الرصاص في أنواع الفلفل الثلاثة.

6 -النحاس(Copper)

أظهرت النتائج أن أعلى تركيز من النحاس سُجّل في الفلفل الهندي (0.178 mg/kg) يليه الفلفل الليبي(0.115 mg/kg) ، بينما كانت أقل قيمة في الفلفل الإسباني .(0.016 mg/kg) النحاس عنصر أساسي في العديد من الإنزيمات وله دور في تكوين الهيموغلوبين وتنشيط عمليات الأكسدة الحيوية. وتشير النسبة الأعلى في الفلفل الهندي إلى اختلافات في امتصاص العناصر المعدنية من التربة، وقد تعود إلى خصوبة التربة أو اختلاف نوعية الأسمدة المعدنية المستخدمة [29].

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



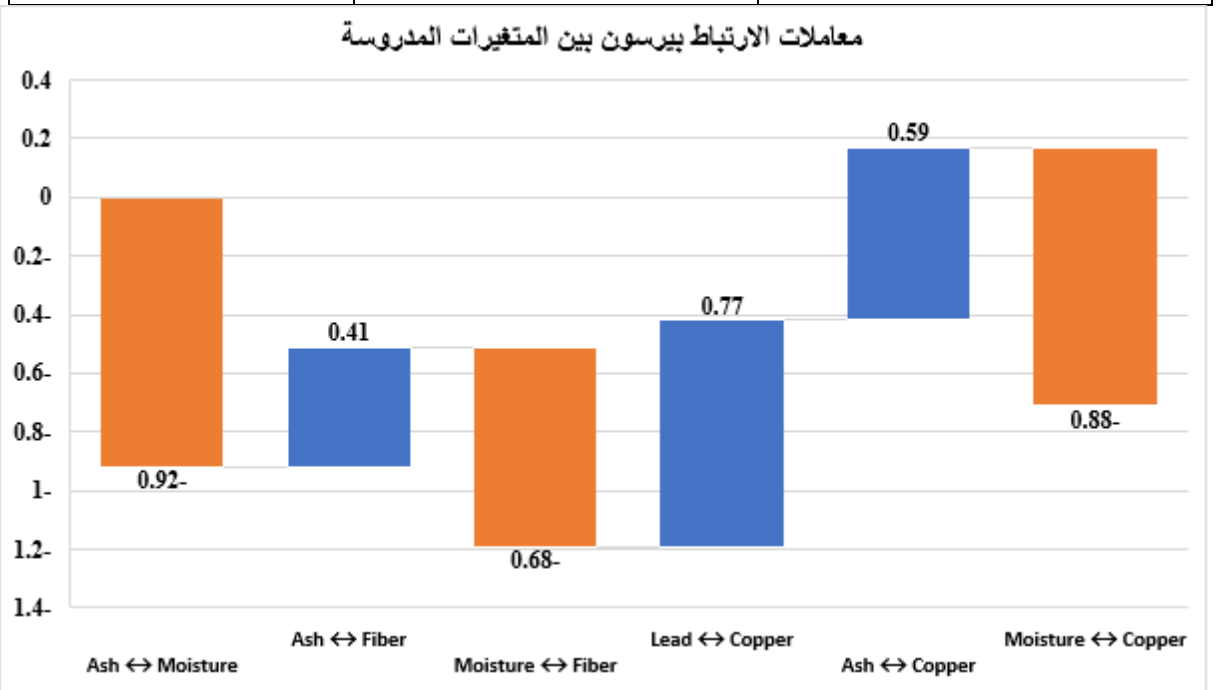
شكل :(5) تركيز النحاس في أنواع الفلفل الثلاثة.

معاملات الارتباط (Pearson Correlation)

أوضحت معاملات الارتباط وجود علاقة عكسية قوية جدًا بين الرماد والرطوبة(r = -0.92) ، مما يشير إلى أن زيادة محتوى الرماد ترتبط بانخفاض الرطوبة نتيجة التجفيف. كما ظهرت علاقة طردية قوية بين الرصاص والنحاس (r = +0.77)مما يدل على مصدر بيئي مشترك لهما، في حين كانت العلاقة بين الرطوبة والألياف سالبة متوسطة(r = -0.68) ، ما يدل على أن العينات الأكثر رطوبة أقل في الألياف.

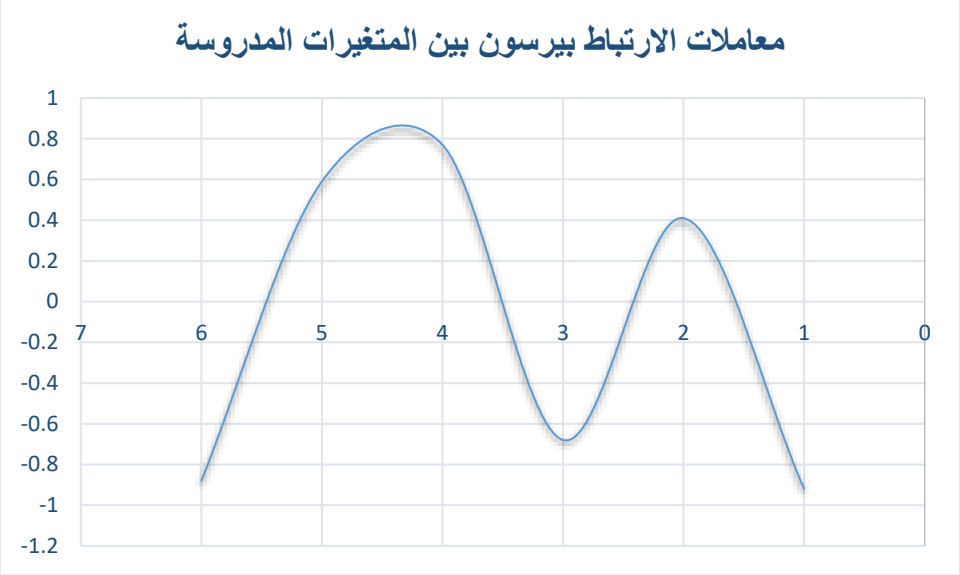
الجدول (5): معاملات الارتباط بيرسون بين المتغيرات المدروسة

العلاقة بين المتغيرين	معامل الارتباط(r)	نوع العلاقة
الرماد ↔ الرطوبة	-0.92	عكسية قوية جدًا
الرماد ↔ الألياف	+0.41	طردية متوسطة
الرطوبة ↔ الألياف	-0.68	عكسية متوسطة
الرصاص ↔ النحاس	+0.77	طردية قوية
الرماد ↔ النحاس	+0.59	موجبة متوسطة
الرطوبة ↔ النحاس	-0.88	سالبة قوية جدًا



الشكل(6) معاملات الارتباط بيرسون بين المتغيرات المدروسة

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



الشكل(7) معاملات الارتباط بيرسون بين المتغيرات المدروسة

جدول (6): معاملات ارتباط بيرسون بين الخصائص الكيميائية في الفلفل الأحمر الليبي، الهندي، والأسباني

العلاقة	الفلفل الليبي(r)	الفلفل الهندي(r)	الفلفل الإسباني(r)
Ash × Moisture	**0.982****	**-0.994****	**-0.994****
Ash × Fiber	**-0.529**	**-0.822**	**-0.771**
Ash × Lead	**-0.761**	—	**-0.991****
Ash × Copper	**-0.765**	**-0.950***	**-0.976****
Moisture × Fiber	**-0.646**	**0.889***	**0.819**
Moisture × Lead	**-0.876***	—	**0.973***
Moisture × Copper	**-0.879***	**0.977***	**0.955***
Fiber × Lead	**0.521**	—	**0.771**
Fiber × Copper	**0.506**	**0.868**	**0.745**
Lead × Copper	**0.999****	—	**0.999****

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

مستويات الدلالة * معنوي عند ($p < 0.05$) **معنوي عند ($p < 0.01$) و (—) لا يمكن حساب الارتباط لغياب التباين في المتغير

لوحظ ارتباط عكسي قوي جدًا بين الرماد والرطوبة في العينات الثلاث ($r \approx -0.99$) ، ($p<0.01$)، مما يشير إلى أن زيادة نسبة المواد المعدنية ترتبط بانخفاض محتوى الرطوبة في الفلفل. في المقابل، أظهرت الرطوبة والألياف علاقة طردية ضعيفة إلى متوسطة($r = 0.82–0.88$) ، خاصة في الفلفل الهندي والأسباني، مما يعكس احتمال تأثير عمليات التجفيف أو التركيب البنيوي للأنسجة. الرصاص والنحاس أظهرا أعلى معامل ارتباط موجب في جميع الأنواع ($r \approx 0.999$) ، ($p<0.01$)، مما يدل على احتمال وجود مصدر تلوث معدني مشترك أو سلوك امتصاص متشابه في النباتات. أما الألياف فلم تظهر ارتباطات معنوية قوية مع العناصر المعدنية، مما يدل على استقلالها النسبي عن المكونات المعدنية والرماد.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Refrence

1- Sattar, A., Wahid, M. and Durrani, S.KConcentration of Selected Heavy Metals in Spices, Dry Fruits and Plant Nuts. Plant Foods for Human Nutrition, 39, 279-286.1989.

2- U. R. Susheela, “Handbook of Spices, Seasoning, and Flavorings,” TECHNOMIC Publishing Co., Inc., Lancas-ter, p. 329, 2000.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3- J. Bitting and P. W. Sherman, “Antimicrobial Functions of Spices—Why Some Like It Hot,” Quarterly Review of Biology, Vol. 73, No. 1, pp. 3-49, 1998. doi:10.1086/420058
4- Manay, S. & Shadaksharaswami, M. *Foods-facts and Principles.* New Age International Publication, New Delhi, 321-330, 1997
5- Hinneburg I., Damien Dorman H.J., Hiltunen R. Food Chem. 97, 122, 2006
6- Krishnapura Srinivasan Spices as influencers of body metabolism: an overview of three decades of research2005 Food Research International Volume 38, Issue 1, January 2005, Pages 77-86
7- Gupta K. K, Bhattacharjee S, Kar S., Chakrabarty S., Thakar P., Bhattacharyya G. and Srivastava S. C. *Soil and plant anal.* 34, 681-693, 2003
8- Ansari T.M, Ikram N., Najam-ul-Haq M., Fayyaz O., Ghafoor I. and Khalid N. J. Biol. Sci. 4, 95-99, 2004
9- Cabrera C, Lorenzo ML, Lopez CM. *J. Agri. Food Chem*.1995; 43: 1605-1609
10- Divrikli U, Horzum N, Soylak M, Elci L. Int. J. Food Sci. Technol., 41,712-716, 2006.
11-Guo, M. *Research on Fermented Chili Raw Material Sauce* (Tianjin University of Science and Technology, 2014).
12-Lv, N. *et al.* Study on the flavor and quality of chili oil from different regional varieties. *Food Sci. Technol.* **48**(6), 275–280,2023
13-Cong, G. L. *et al.* Effects of capsaicin on intestinal function and intestinal flora of animals and its research progress in alleviating intestinal inflammation. *Jiangsu J. Agric.* **39**(1), 287–294. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-4440.2023.01.032 (2023).
14-Li-qiang Zhou & Wen-zheng Liu Pollution of four heavy metal elements in dried chilipeppers in Guizhou Province and its health risk assessment *Scientific Reports* **volume 14**, Article number: 17759 (2024) .
15-FatemehShokri Dariyan [a], Akbar Eslami [b], Negin Rezaeiarshad [a],Marjan Hashemi [b] Health risk assessment of heavy metals concentrations in spices obtained from markets: A case study in Tehran, Iran, Journal of Food Composition and Analysis, Volume 139, March, 107152. 2024.
16-كاميليا حلبي ، فؤاد سلمان ، الكشف عن العناصر المعدنية الثقيلة في بعض أنواع التوابل التي تباع في الأسواق المحلية ،المجلة السورية للبحوث الزراعية ,10(2):23- 28 نيسان أبريل 2023
17- سالم رحيمه سالم رحيمه ، تقدير تراكيز بعض العناصر الثقيلة في بعض أنواع التوابل في الأسواق المحلية ,مجلة رواق الحكمة تصدر عن أقسام الفلسفة جامعة الزاوية ,العدد التاني عشر ,السنة الرابعة ,2022.
18- أحمد بلقاسم ، وآخرون ، تقدير تركيز ومقارنة العناصر الثقيلة في التوابل والبهارات في محلات مدينتي صبراتة وصرمان.المؤتمر الدولي الأول لكليات العلوم –جامعة الزاوية ,19-20 ديسمبر 2021.
19-محمود عبدالله إمريمي ، آخرون ‘,تقدير بعض المعادن المعادن الثقيلة في أنواع من التوابل المتوفرة بالأسواق المحلية بمنطقة وادئ الشاطئ جنوب ليبيا,مجلة العلوم التطبيقية ,العدد الخاص الأول ,يونيو 2019 .
20- أماني عبدالسلام علي احميد ، وآخرون ,تعيين تركيز الرصاص والزئبق في مجموعة من التوابل في السوق المحلية في مدينة طرابلس,مجلة غريان للتقنية /المعهد العالي للعلوم والتقنية غريان ,العدد الرابع ,ديسمبر -2018 .
21- AOAC.. Official methods of analysis. 14th ed. Official Methods of Analysis of AOAC International. Gaithersburg (MD): CAB publisher.1992.
22- Frick,F. and Robbins,WTrace elements Analysis of Food and Beverages by AAS .Progress in Analytical Atomic Spectroscopy. 2:185 1979.
23- Al-Jassir, M. SElemental contents of hot peppers (Capsicum annuum L.) in Saudi Arabia. Journal of Food Composition and Analysis, 18(6), 569–575.2005.
24- Ahmed, F. A., El-Niely, H. F., & El-Kholany, E. A Effect of drying methods on the quality and chemical composition of red pepper (Capsicum annuum L.). *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1852–1860 2019..
25- Kumar, R., Singh, R., & Chauhan, A. K. (2018). Nutritional and functional properties of different varieties of chili (Capsicum annuum L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 3(5), 82–89 2018.
26- World Health Organization (WHO). (2021). Codex Alimentarius: General standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995). Geneva: WHO/FAO.
27- FAO/WHOJoint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Evaluation of certain food contaminants, including cadmium and lead. Geneva: World Health Organization.2016.
28- Hassan, H. M., El-Masry, H. M., & Farag, R. S. Determination of heavy metals and essential elements in some spices and herbs available on the Egyptian market. *Food Chemistry*, 332, 12738,2020.

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **AJAPAS** and/or the editor(s). **AJAPAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

 Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).