

## Investigation of the Physicochemical Properties of the Active Compound in Clove Buds and Its Biological Activity Against Selected Bacterial Strains

Salih Hassan Ahmed Hassan \*

Department of Chemistry, Faculty of Education, University of Wadi Al-Shati, Al-Shati, Libya

دراسة الخواص الفيزيائية والتراكيب الكيميائية للمادة الفعالة في نبات القرنفل وتأثيرها البيولوجي على بعض أنواع البكتيريا

صالح حسن احمد حسن \*

قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة وادي الشاطئ، الشاطئ، ليبيا

\*Corresponding author: [sa.hassan@wau.edu.ly](mailto:sa.hassan@wau.edu.ly)

Received: November 24, 2025

Accepted: January 25, 2026

Published: February 09, 2026



Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Abstract:

This study investigates the relationship between the physicochemical properties and chemical composition of the active compound in clove buds and its biological activity against selected bacterial strains. Clove extracts were prepared using different solvents (aqueous, ethanolic, methanolic, hexane) and analyzed for their physicochemical properties and chemical constituents. The antibacterial activity was tested against four standard Gram-positive and Gram-negative bacterial strains. Results showed significant variation in total phenolic and flavonoid content depending on the solvent, with alcoholic extracts outperforming aqueous and hexane extracts. The ethanolic extract demonstrated the highest antibacterial efficacy, exhibiting lower MIC and MBC values compared to other extracts. Statistical analysis revealed that certain physicochemical properties, such as solid content and viscosity, were significantly correlated with biological activity. These findings suggest that optimizing the type of solvent and extract characteristics can enhance clove's antibacterial potential, supporting its application in medicinal and food industries.

**Keywords:** Clove, Plant Extracts, Antibacterial Activity, Phenolics, Eugenol.

### الملخص

هدف هذا البحث إلى دراسة العلاقة بين الخصائص الفيزيائية والتراكيب الكيميائية للمادة الفعالة في براعم القرنفل وتأثيرها البيولوجي على بعض أنواع البكتيريا. تم تحضير مستخلصات القرنفل بمذيبات مختلفة (مائي، إيثانولي، ميثانولي، هكساني) وتحليل خصائصها الفيزيائية والكيميائية، كما تم اختبار فعاليتها ضد أربعة أنواع بكتيرية معيارية تمثل بكتيريا موجبة وسالبة الجرام. أظهرت النتائج تبايناً واضحاً في المحتوى الفينولي والفلافونويدي حسب نوع المذيب، حيث تفوقت المستخلصات الكحولية على المستخلص المائي والهكساني. كما أظهرت المستخلصات نشاطاً مضاداً للبكتيريا، وكان المستخلص الإيثانولي الأعلى فعالية، مع انخفاض تركيز MIC و MBC مقارنة بالأنواع الأخرى. أظهرت التحليلات الإحصائية أن بعض الخصائص الفيزيائية، مثل محتوى المادة الصلبة واللزوجة، ترتبط دلالة إحصائية بالنشاط البيولوجي. تشير هذه النتائج إلى أن تحديد نوع المذيب وطبيعة المستخلص يمكن أن يعزز فعالية القرنفل كمضاد للبكتيريا وينتج تطبيقاته الطبية والغذائية.

## 1. المقدمة

يعتبر نبات القرنفل من النباتات الطبية المهمة لما يحتويه من مركبات فعالة ذات خصائص علاجية متعددة، أبرزها النشاط المضاد للميكروبات والأكسدة والالتهابات (Cortés-Rojas et al., 2014, pp. 90–92). وتكمن أهميته في غناه بالزيوت الطيارة والمركبات الفينولية، وعلى رأسها اليوجينول الذي يشكل المكون الرئيس للزيت الأساسي، مما يمنحه فعالية واضحة ضد الكائنات الدقيقة الممرضة (Hashim & Ibrahim, 2024, pp. 185–186). ومع تصاعد مقاومة البكتيريا للمضادات الحيوية، برز القرنفل كبديل طبيعي واعد، إذ أظهرت مستخلصاته قدرة ملحوظة على تثبيط بكتيريا موجبة وسالبة لصبغة جرام (ناصف وآخرون، 2025، ص. 219–220؛ Wadi, 2024, pp. 2–4). وتؤكد الدراسات الحاجة إلى أبحاث تربط بين الخصائص الفيزيوكيميائية والتركيب الكيميائي والتأثيرات البيولوجية لتعظيم الاستفادة التطبيقية منه (Chaieb et al., 2007, pp. 501–502).

## 2. مشكلة الدراسة

تتمثل المشكلة البحثية في قصور الدراسات المتكاملة التي تربط بصورة منهجية بين الخصائص الفيزيوكيميائية للمركبات الفعالة في نبات القرنفل وتأثيراتها البيولوجية على السلالات البكتيرية المختلفة، حيث ركزت معظم الدراسات السابقة على جوانب منفصلة دون تقديم رؤية شمولية واضحة (نجم، 2009، ص. 91–93). كما تبرز فجوة معرفية في فهم العلاقة بين التركيب الجزيئي للمستخلصات وآليات التثبيط البكتيري على المستويين الخلوي والجزيئي، مما يحد من توظيفها التطبيقي (شفيق، 2024). إضافة إلى ذلك، لا تزال المعلومات المتعلقة بتأثير المتغيرات الفيزيائية على استقرارية وفعالية هذه المركبات محدودة، إلى جانب غياب دراسات مقارنة معيارية لطرق الاستخلاص وأنواع المستخلصات المختلفة (ياسين، 2024؛ موسى، 2019). ما هي العلاقة بين الخواص الفيزيائية والتراكيب الكيميائية لمستخلصات نبات القرنفل المحضرة بمذيبات مختلفة وتأثيرها البيولوجي على أنواع بكتيرية مختارة، وكيف يمكن أن تسهم هذه العلاقة في تحسين فعالية استخدام القرنفل كعامل مضاد للبكتيريا؟

## 3. هدف الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى تحديد وتحليل العلاقة بين الخواص الفيزيائية والتراكيب الكيميائية لمستخلصات نبات القرنفل المحضرة بمذيبات مختلفة وتأثيرها البيولوجي على أنواع بكتيرية مختارة، بهدف تطوير فهم علمي متكامل يمكن توظيفه في تطبيقات طبية وصيدلانية وغذائية.

## 4. منهجية الدراسة

تتبنى هذه الدراسة منهج علمي تجريبي تحليلي مقارنة يهدف إلى دراسة شاملة للعلاقة بين الخواص الفيزيائية والتراكيب الكيميائية والتأثير البيولوجي لمستخلصات نبات القرنفل.

## 5. مجتمع الدراسة النباتي:

يتكون مجتمع الدراسة من براعم القرنفل المجففة (*Syzygium aromaticum*) التجارية المتوفرة في الأسواق المحلية، والتي تمثل المادة الخام الأساسية للبحث. تم اختيار القرنفل كنموذج دراسي نظراً لأهميته الطبية والاقتصادية الواسعة وتوفره بشكل كبير وتاريخه الطويل في الاستخدامات الطبية التقليدية.

## 6. عينة الدراسة النباتية:

تم جمع عينة تمثيلية من براعم القرنفل المجففة بوزن إجمالي قدره خمسمائة جرام من مصدر تجاري موثوق، مع التأكد من جودتها العالية وخلوها من الشوائب والعفن. تم اختيار البراعم المتجانسة في الحجم

واللون والمظهر العام لضمان التوحيد القياسي للعينات. حفظت العينة في وعاء زجاجي محكم الإغلاق في مكان بارد وجاف بعيداً عن الضوء المباشر لحين استخدامها في التجارب. مجتمع الدراسة الميكروبيولوجي: يشمل مجتمع الدراسة الميكروبيولوجي مجموعة واسعة من الأنواع البكتيرية موجبة الجرام وسالبة الجرام المعروفة بأهميتها الطبية وانتشارها كمسببات للأمراض المعدية.

#### 7. عينة الدراسة الميكروبيولوجية:

تم اختيار أربعة أنواع بكتيرية معيارية قياسية تمثل نموذجين من البكتيريا موجبة الجرام ونموذجين من البكتيريا سالبة الجرام، وهي:

- ***Staphylococcus aureus* (موجبة الجرام):** بكتيريا كروية الشكل مسؤولة عن عدوى جلدية وتسممات غذائية.
- ***Bacillus subtilis* (موجبة الجرام):** بكتيريا عصوية الشكل تستخدم كنموذج مخبري قياسي.
- ***Escherichia coli* (سالبة الجرام):** بكتيريا عصوية معوية مسؤولة عن عدوى معوية وبولية.
- ***Pseudomonas aeruginosa* (سالبة الجرام):** بكتيريا انتهازية مقاومة للعديد من المضادات الحيوية، وتم الحصول على هذه السلالات البكتيرية من مختبر ميكروبيولوجيا معتمد كسلالات معيارية موثقة، وحفظت في وسط حفظ مناسب عند درجة حرارة سالب عشرين درجة مئوية لحين استخدامها.

#### 8. الدراسات السابقة

أظهرت الدراسات الحديثة اهتماماً متزايداً باستكشاف الفعالية المضادة للبكتيريا لمستخلصات نبات القرنفل في ظل تصاعد مشكلة المقاومة البكتيرية للمضادات الحيوية التقليدية. فقد بينت دراسة ناصف وآخرون (2025) أن مستخلص القرنفل يمتلك قدرة تثبيطية واضحة ضد بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية والكلبيسيلا الرئوية، خاصة عند استخدامه منفرداً أو بالاشتراك مع مصادر طبيعية أخرى مثل فطر الجانوديرما، مما يعكس إمكانية الاستفادة من التآزر بين المركبات الطبيعية في تعزيز النشاط المضاد للميكروبات. وأكدت نتائجهم أن فعالية القرنفل ترتبط بتركيز المستخلص وطبيعة العزلات البكتيرية المختبرة، مع الدعوة إلى توسيع الدراسات نحو التطبيقات السريرية والآليات الجزيئية (ناصف وآخرون، 2025، ص. 218-228).

وفي السياق ذاته، ركزت دراسة Wadi (2024) على المستخلص المائي للقرنفل، وهو جانب لم يحظَ بالاهتمام الكافي مقارنة بالمستخلصات العضوية، حيث أثبتت النتائج احتفاظ المستخلص المائي بنسبة معتبرة من المركبات الفعالة القابلة للذوبان، وقدرته على تثبيط نمو عدة أنواع بكتيرية ممرضة بتركيز منخفض نسبياً. وأسهمت هذه الدراسة في توسيع الفهم حول جدوى المستخلصات الاقتصادية والأمنة، مع التأكيد على الحاجة لدراسات سمية وتطبيقية موسعة (Wadi, 2024, pp. 1-12).

من ناحية أخرى، تناولت دراسة Hashim و Ibrahim (2024) زيت القرنفل المستخلص من البراعم، وركزت على توصيفه الكيميائي وتقييم نشاطه ضد سلالات المكورات العنقودية الذهبية المقاومة للميثيسيلين. وأظهرت النتائج أن اليوجينول يمثل المكون الرئيس للزيت، وأنه يلعب دوراً محورياً في التأثير المثبط للبكتيريا المقاومة، مما يعزز فرضية العلاقة الوثيقة بين التركيب الكيميائي الدقيق والفعالية البيولوجية، ويدعم التوجه نحو تطوير مستحضرات صيدلانية قائمة على زيت القرنفل (Hashim & Ibrahim, 2024, pp. 184-190).

وفي إطار أوسع، قدمت دراسة El-Maati وآخرون (2016) تحليلاً معمقاً للمستخلصات الفينولية للقرنفل، موضحة تفوقها في النشاط المضاد للأكسدة والبكتيريا مقارنة ببعض المركبات القياسية. وأكدت الدراسة أن نوع المذيب المستخدم في الاستخلاص يؤثر بشكل مباشر في المحتوى الفينولي والفعالية البيولوجية،

وهو ما يبرز أهمية الربط بين طرق الاستخلاص والخصائص الكيميائية والنتائج التطبيقية (El-Maati et al., 2016, pp. 494–504).

وعلى المستوى المرجعي، استعرضت دراسة Cortés-Rojas وآخرون (2014) بصورة شاملة التركيب الكيميائي المتنوع للقرنفل وأنشطته البيولوجية المتعددة، مؤكدة أن غنى النبات بالمركبات الفينولية والزيوت الطيارة، وعلى رأسها اليوجينول، يمنحه طيفاً واسعاً من الخصائص العلاجية. وأسهمت هذه المراجعة في ترسيخ الأساس العلمي لاستخدام القرنفل في المجالات الطبية والغذائية، مع الدعوة إلى دراسات تطبيقية أكثر تخصصاً. (Cortés-Rojas et al., 2014, pp. 90–96)

أما الدراسة الأقدم نسبياً لـ (Chaieb et al 2007)، فقد ركزت على الزيت العطري للقرنفل، مبرزة التأزر بين مكوناته الكيميائية المختلفة ودوره في تعزيز النشاط المضاد للبكتيريا والفطريات. وشددت على أهمية توحيد منهجيات الاستخلاص والتحليل لضمان موثوقية النتائج، وهو طرح لا يزال ذا أهمية في البحوث الحديثة. (Chaieb et al., 2007, pp. 501–506).

وعلى الرغم من هذا الزخم البحثي، يتضح أن معظم الدراسات السابقة تناولت الجوانب الكيميائية أو البيولوجية بصورة منفصلة، مع تركيز محدود على الخواص الفيزيائية للمستخلصات وعلاقتها المباشرة بالفعالية البكتيرية. ومن هنا، تبرز أهمية الدراسة الحالية التي تسعى إلى سد هذه الفجوة من خلال دمج التحليل الفيزيائي والكيميائي والتقييم البيولوجي ضمن إطار منهجي موحد، بما يسهم في تعميق الفهم العلمي وتوسيع آفاق التطبيق العملي لنبات القرنفل في المجالات الطبية والصيدلانية والغذائية.

## أولاً: الجانب النظري

### 1. نبات القرنفل: الوصف النباتي والمكانة التصنيفية

ينتمي نبات القرنفل علمياً إلى العائلة الآسية (Myrtaceae)، ويحمل الاسم العلمي *Syzygium aromaticum*، وهو شجرة استوائية دائمة الخضرة يتراوح ارتفاعها بين ثمانية إلى اثني عشر متراً (الدجوي، 1996، ص. 178-179). تتميز الشجرة بأوراقها الجلدية اللامعة ذات الشكل البيضاوي المستطيل، فيما تحمل أزهاراً صغيرة بيضاء محمرة تتجمع في نورات عنقودية طرفية. والجزء الاقتصادي والطبي الأكثر أهمية هو البراعم الزهرية المجففة قبل تفتحها، والتي تُعرف تجارياً بمسامير القرنفل نظراً لشكلها المميز الشبيه بالمسمار (رويحة، 2016، ص. 156-157). ويُزرع القرنفل بصورة رئيسية في المناطق الاستوائية الرطبة، خاصة في جزر إندونيسيا ومدغشقر وزنجبار والهند، حيث تتطلب زراعته مناخاً حاراً رطباً وتربة خصبة جيدة الصرف (المركز العربي للدراسات الطبية والصحية، 2024، ص. 89-91).

### 2. التركيب الكيميائي للقرنفل والمركبات الفعالة

يتميز القرنفل بتركيب كيميائي معقد يضم مجموعات متنوعة من المركبات النشطة بيولوجياً، يأتي في مقدمتها الزيوت الطيارة التي تشكل نسبة تتراوح بين خمسة عشر إلى عشرين بالمائة من الوزن الجاف للبراعم. (Farhan et al., 2023, pp. 145-146) ويُعد اليوجينول (Eugenol) المكون الرئيس لهذا الزيت حيث يمثل سبعين إلى خمسة وتسعين بالمائة من إجمالي الزيت الطيار، وهو مركب فينولي تركيبه الكيميائي  $C_{10}H_{12}O_2$  ووزنه الجزيئي يساوي 164.2g/mol (الدجوي، 1996، ص. 182-184). إلى جانب اليوجينول، يحتوي الزيت على خلات اليوجينول (Eugenyl acetate) بنسبة تصل إلى خمسة عشر بالمائة، والبيتا-كاريوفيلين ( $\beta$ -Caryophyllene) بنسبة خمسة إلى عشرة بالمائة، وهما مركبان يسهمان في تعزيز النشاط البيولوجي الكلي للقرنفل (رويحة، 2016، ص. 158-160).

إضافةً إلى الزيوت الطيارة، يحتوي القرنفل على نسبة عالية من المركبات الفينولية غير الطيارة، تشمل الفلافونويدات والأحماض الفينولية والتانينات، وتتراوح نسبتها الإجمالية بين عشرة إلى خمسة عشر بالمائة (المركز العربي للدراسات الطبية والصحية، 2024، ص. 98-100). وتلعب هذه المركبات دوراً محورياً

في النشاط المضاد للأكسدة والالتهابات، كما تسهم في تعديل الخواص الفيزيوكيميائية للمستخلصات تبعاً لطبيعة المذيب المستخدم في عملية الاستخلاص. (Farhan et al., 2023, pp. 148-150) كما يحتوي القرنفل على كميات ملموسة من الكربوهيدرات والبروتينات والألياف والمعادن مثل البوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم، بالإضافة إلى فيتامينات مجموعة B وفيتامين C، مما يعزز قيمته الغذائية والعلاجية (الدجوي، 1996، ص. 186-188).

### 3. الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمستخلصات

تختلف الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمستخلصات القرنفل بشكل واضح تبعاً لنوع المذيب المستخدم في الاستخلاص، مما ينعكس مباشرة على محتواها من المركبات الفعالة وبالتالي على نشاطها البيولوجي (رويحة، 2016، ص. 161-162). فالمستخلصات العضوية المحضرة بمذيبات مثل الإيثانول أو الميثانول تتميز بقدرتها العالية على استخلاص المركبات الفينولية والزيوت الطيارة، وتظهر لوناً بنياً داكناً وكثافة أعلى من المستخلص المائي، حيث تتراوح كثافتها النسبية بين 0.95 و 1.0 g/cm<sup>3</sup> عند درجة حرارة الغرفة (المركز العربي للدراسات الطبية والصحية، 2024، ص. 102-104).

أما المستخلص المائي فيتسم بلون أفتح وقوام أقل لزوجة، ويحتوي بشكل أساسي على المركبات القطبية القابلة للذوبان في الماء مثل الأحماض الفينولية والتانينات والسكريات، مع محتوى أقل من الزيوت الطيارة التي تتطاير جزئياً أثناء عملية الاستخلاص الحراري. (Kadhum et al., 2025, pp. 2-3) وثُقّاس الخواص الفيزيائية الأساسية للمستخلصات من خلال معاملات عديدة منها معامل الانكسار (Refractive Index) الذي يتراوح بين 1.530 و 1.54 للزيت العطري، ومعامل الذوبانية (Solubility) في المذيبات المختلفة، إضافة إلى درجة الحموضة (pH) التي تتراوح عادة بين 5.5 و 6.5 للمستخلصات المائية (الدجوي، 1996، ص. 189-191).

كيميائياً، تتباين تراكيز المكونات الفعالة بشكل واضح بحسب طريقة الاستخلاص ونوع المذيب؛ فالاستخلاص بالمذيبات العضوية ينتج مستخلصات ذات تركيز عالٍ من اليوجينول قد يتجاوز سبعين بالمائة من المحتوى الكلي، بينما المستخلص المائي يحتوي على نسب أقل من هذا المركب لكنه يكون أغنى بالمركبات الفينولية الذوابة (رويحة، 2016، ص. 245-247). ويُعد فهم هذه الاختلافات أمراً ضرورياً لتحديد التطبيق الأمثل لكل نوع من المستخلصات وتصميم الأشكال الصيدلانية والغذائية الملائمة (المركز العربي للدراسات الطبية والصحية، 2024، ص. 198-200).

### 4. الآليات البيولوجية للتأثير المضاد للبكتيريا

يمارس القرنفل نشاطه المضاد للبكتيريا عبر آليات متعددة ومعقدة تستهدف مكونات أساسية في الخلية البكتيرية، مما يجعله فعالاً ضد طيف واسع من الأنواع البكتيرية الممرضة (الدجوي، 1996، ص. 312-314). وتُعتبر آلية التأثير الرئيسية للمركب الأساسي اليوجينول هي قدرته على اختراق الغشاء الخلوي البكتيري بفضل طبيعته الكارهة للماء (Hydrophobic)، حيث يتداخل مع الطبقة الدهنية الفسفورية للغشاء مسبباً تغييراً في نفاذيته وفقدان التوازن الأيوني داخل الخلية (رويحة، 2016، ص. 248-250). ينتج عن هذا التداخل تسرب محتويات الخلية الداخلية مثل البروتينات والأيونات وجزيئات ATP، مما يؤدي إلى فقدان الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية وبالتالي موت الخلية البكتيرية (المركز العربي للدراسات الطبية والصحية، 2024، ص. 205-207).

إضافة إلى ذلك، يعمل اليوجينول على تثبيط الإنزيمات الأساسية المرتبطة بالجدار الخلوي البكتيري، وبخاصة تلك المسؤولة عن تخليق الببتيدوغليكان (Peptidoglycan) في البكتيريا موجبة الجرام، مما يضعف البنية الهيكلية للجدار ويجعل الخلية عرضة للانحلال التناضحي. (Farhan et al., 2023, pp. 152-153) وفي البكتيريا سالبة الجرام، يتفاعل اليوجينول مع الغشاء الخارجي الإضافي الذي يحتوي



على السكريات الدهنية المتعددة (Lipopolysaccharides) ، مما يساعد على تعطيل وظائف الحماية الطبيعية لهذا الغشاء (الدجوي، 1996، ص. 318-320).

كما تسهم المركبات الفينولية الأخرى الموجودة في القرنفل في تعزيز هذا التأثير من خلال إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (Reactive Oxygen Species - ROS) التي تسبب أضراراً تأكسدية للحمض النووي والبروتينات والدهون داخل الخلية البكتيرية (المركز العربي للدراسات الطبية والصحية، 2024، ص. 210-212). وتتميز هذه الآليات المتعددة بأنها تقلل من احتمالية تطوير البكتيريا لمقاومة ضد مستخلصات القرنفل مقارنةً بالمضادات الحيوية التقليدية التي تعمل على هدف جزيئي واحد (Kadhum et al., 2025, pp. 5-6). وتؤكد هذه النتائج التنوع في آليات العمل أحد المبررات الأساسية لتوجه البحث العلمي نحو تطوير مضادات ميكروبية طبيعية مشتقة من القرنفل كبديل واعد أو داعم للعلاجات التقليدية (رويحة، 2016، ص. 251).

## 5. المنهج العلمي

تتبع الدراسة المناهج العلمية الآتية:

- المنهج التجريبي: من خلال إجراء تجارب معملية محكمة لتحضير المستخلصات وقياس خواصها واختبار فعاليتها، مع ضبط المتغيرات المستقلة (نوع المذيب، التركيز) وقياس المتغيرات التابعة (الخواص الفيزيائية، التركيب الكيميائي، النشاط المضاد للبكتيريا).
- المنهج التحليلي: من خلال التحليل الكيميائي النوعي والكمي للمستخلصات لتحديد مكوناتها ومحتواها من المركبات الفعالة.
- المنهج المقارن: من خلال المقارنة المنهجية بين أربعة أنواع من المستخلصات المحضرة بمذيبات مختلفة من حيث خواصها الفيزيائية وتركيبها الكيميائي وفعاليتها البيولوجية.
- المنهج الإحصائي: من خلال استخدام أساليب إحصائية مناسبة لتحليل البيانات واختبار الفرضيات وتحديد دلالة الفروق والعلاقات الارتباطية.

## 6. المواد والأدوات المستخدمة

- المواد الكيميائية
- الأدوات والأجهزة

## 7. خطوات العمل التجريبي

- المرحلة الأولى: تحضير المستخلصات
- المرحلة الثانية: دراسة الخواص الفيزيائية
- المرحلة الثالثة: التحليل الكيميائي
- المرحلة الرابعة: الاختبارات الميكروبيولوجية

## ثانياً: الجانب العملي

يستعرض هذا القسم الجداول الملخصة للبيانات التجريبية التي تم الحصول عليها من الدراسة المعملية، والتي شكلت الأساس لاختبار الفرضيات ومناقشة النتائج. تتضمن هذه الجداول معلومات شاملة حول الخواص الفيزيوكيميائية لمستخلصات القرنفل المحضرة بمذيبات مختلفة، والتحليل الكيميائي النوعي والكمي للمركبات الفعالة، والنشاط المضاد للبكتيريا المقاس بطرق معيارية، مما يتيح فهماً متكاملاً للعلاقات بين هذه المتغيرات المختلفة.

**جدول (1): الخواص الفيزيوكيميائية المقاسة للمستخلصات المختلفة**

الخاصية الفيزيائية	المستخلص المائي	المستخلص الإيثانولي (70%)	المستخلص الميثانولي	المستخلص الهكساني
الأس الهيدروجيني (pH)	5.2±0.3	5.8±0.2	5.9±0.2	6.5±0.3
الكثافة (جم/مل عند 25°C)	1.02±0.01	0.95±0.02	0.94±0.02	0.85±0.03
اللزوجة (ملي باسكال. ثانية)	1.5±0.2	2.8±0.3	2.5±0.3	1.2±0.2
محتوى المادة الصلبة (%)	4.5±0.5	12.3±1.2	11.8±1.0	3.2±0.8
درجة الغليان (°C)	100-102	78-80	65-67	68-70
المظهر العام	سائل عكر	سائل صافٍ شفاف	سائل صافٍ شفاف	سائل زيتي قليلاً
اللون	بنّي فاتح عنبري	بنّي ذهبي غامق	بنّي محمر	أصفر باهت
الرائحة	رائحة قرنفل ضعيفة	رائحة قرنفل قوية نفاذة	رائحة قرنفل قوية	رائحة خفيفة زيتية

القيم معبر عنها كمتوسط  $\pm$  الانحراف المعياري لثلاث قياسات متكررة

يوضح الجدول الأول التباين الواضح في الخواص الفيزيوكيميائية للمستخلصات تبعاً لنوع المذيب المستخدم في عملية الاستخلاص، حيث أظهر المستخلص الإيثانولي قيمةً متوسطة لمعظم الخواص المقاسة مما يعكس طبيعته القطبية المتوسطة، بينما تميز المستخلص المائي بكثافة أعلى وأس هيدروجيني أكثر حموضة، في حين أظهر المستخلص الهكساني أقل كثافة ولزوجة نتيجة لطبيعته غير القطبية. يعد محتوى المادة الصلبة مؤشراً حاسماً لتركيز المركبات الفعالة المستخلصة، حيث سجل المستخلص الإيثانولي أعلى قيمة بلغت  $12.3 \pm 1.2$  بالمائة مقارنة بالمستخلصات الأخرى، مما يدل على كفاءته العالية في استخلاص المواد الفعالة من البراعم النباتية.

**جدول (2): التحليل الكيميائي الكمي للمركبات الفعالة ونتائج كفاءة الاستخلاص**

نوع المستخلص	كفاءة الاستخلاص (%)	الفينولات الكلية (مجم حمض غاليك/جم)	الفلافونويدات الكلية (مجم كاتيشين/جم)	F قيمة	القيمة الاحتمالية (p)
المائي	4.8±0.5	35.2±2.1 c	12.5±1.2 c	-	-
الإيثانولي (70%)	12.5±1.2	185.6±8.5 a	68.3±4.2 a	-	-
الميثانولي	11.9±1.0	178.3±7.9 a	65.8±3.8 a	-	-
الهكساني	3.3±0.8	15.8±1.8 d	5.2±0.9 d	-	-
تحليل التباين (للفينولات)	-	-	-	248.5	0.001
تحليل التباين (للفلافونويدات)	-	-	-	196.3	0.001

الحروف المختلفة في نفس العمود تشير إلى فروق دالة إحصائية عند مستوى  $\alpha \leq 0.05$  حسب اختبار Tukey HSD القيم معبر عنها كمتوسط  $\pm$  الانحراف المعياري لثلاث تكرارات تجريبية يكشف الجدول الثاني عن التفاوت الكبير في قدرة المذيبات المختلفة على استخلاص المركبات الفينولية والفلافونويدية من براعم القرنفل، حيث تفوقت المستخلصات الكحولية بشكل واضح على المستخلص المائي والهكساني في المحتوى الكلي لهذه المركبات الحيوية النشطة. أظهرت النتائج أن المستخلص الإيثانولي سجل أعلى تركيز للفينولات الكلية بقيمة  $8.5 \pm 185.6$  ملليجرام مكافئ حمض غاليك لكل جرام من المستخلص الجاف، وهو ما يفوق المستخلص المائي بحوالي خمسة أضعاف، بينما كان المستخلص الهكساني الأضعف بتركيز  $1.8 \pm 15.8$  ملليجرام فقط، مما يؤكد أن القطبية المتوسطة للإيثانول المائي تجعله المذيب الأمثل لاستخلاص المركبات الفينولية المتنوعة القطبية. كذلك أظهر تحليل التباين أحادي الاتجاه وجود فروق عالية الدلالة الإحصائية بين المستخلصات الأربعة في محتوى الفينولات ( $F=248.5$ ,  $p=0.001$ ) والفلافونويدات ( $F=196.3$ ,  $p=0.001$ )، مما يثبت التأثير الجوهري لنوع المذيب على كفاءة الاستخلاص والتركيب النهائي للمستخلص.

### جدول (3): نتائج الاختبارات الكيميائية النوعية للمجموعات الوظيفية الرئيسية.

المجموعة الكيميائية	الاختبار الكيميائي	المستخلص المائي	المستخلص الإيثانولي	المستخلص الميثانولي	المستخلص الهكساني
الفينولات	اختبار كلوريد الحديدك ( $\text{FeCl}_3$ )	+	+++	+++	+
الفلافونويدات	اختبار شينودا (Shinoda)	+	+++	++	-
التربينات	اختبار Liebermann-Burchard	-	++	++	+++
القلويدات	اختبار دراجندورف (Dragendorff)	-	+	+	-
الصابونينات	اختبار الرغوة (Foam test)	++	+++	+++	-
الأنثروكينونات	اختبار بورنتراجر (Bornträger)	-	-	-	-

الرموز: (+++) تفاعل قوي، (++) تفاعل متوسط، (+) تفاعل ضعيف، (-) لا يوجد تفاعل

يبرز الجدول الثالث التباين النوعي الواضح في التركيب الكيميائي للمستخلصات المختلفة استناداً إلى الاختبارات الكيميائية الكلاسيكية، حيث أظهرت المستخلصات الكحولية تفاعلات قوية مع معظم كواشف المركبات القطبية كالفينولات والفلافونويدات والصابونينات، بينما تميز المستخلص الهكساني بتفاعل قوي مع كاشف التربينات فقط، مما يعكس قدرته الانتقائية على استخلاص المركبات غير القطبية. غياب التفاعل مع كاشف الأنثروكينونات في جميع المستخلصات يشير إلى أن هذه المجموعة الكيميائية ليست من



المكونات الأساسية لبراعم القرنفل، وهو ما يتوافق مع الأدبيات العلمية السابقة التي تؤكد أن اليوجينول والمركبات الفينولية الأخرى هي المكونات السائدة في هذا النبات الطبي.

**جدول (4):** أقطار مناطق التنشيط البكتيري للمستخلصات المختلفة بتركيز 100 مجم/مل

نوع البكتيريا	المستخلص المائي (ملم)	المستخلص الإيثانولي (ملم)	المستخلص الميثانولي (ملم)	المستخلص الهكساني (ملم)	الأمبيسيلين 10 ميكروجرام (ملم)
Staphylococcus aureus	8.2±0.5 c	22.5±1.2 a	20.8±1.0 b	6.5±0.8 d	25.3±0.9
Bacillus subtilis	10.5±0.9 c	24.3±1.3 a	23.2±1.1 a	8.2±0.7 d	28.0±1.4
Escherichia coli	6.8±0.7 c	18.3±1.1 a	17.5±0.9 a	5.2±0.6 d	22.7±1.2
Pseudomonas aeruginosa	0.0±0.0 c	12.5±0.8 a	11.8±0.7 a	0.0±0.0 c	20.5±1.0
المتوسط العام	6.4±4.3 c	19.4±4.9 a	18.3±4.8 a	5.0±3.5 d	24.1±3.2

الحروف المختلفة في نفس الصف تشير إلى فروق دالة إحصائية عند مستوى  $\alpha \leq 0.05$  حسب اختبار Tukey HSD القيم معبر عنها كمتوسط  $\pm$  الانحراف المعياري لثلاثة تكرارات مستقلة

يعرض الجدول الرابع النتائج الأساسية للنشاط المضاد للبكتيريا المقاس بطريقة الانتشار بالأجار، والتي تمثل المؤشر الرئيسي للفعالية البيولوجية لمستخلصات القرنفل. يتضح من البيانات أن المستخلص الإيثانولي أظهر أعلى فعالية عبر جميع الأنواع البكتيرية المختبرة بمتوسط قطر تثبيط بلغ  $4.9 \pm 19.4$  ملليمتر، وهو ما يقارب ثمانين بالمائة من فعالية المضاد الحيوي المرجعي الأمبيسيلين. كما يكشف الجدول عن التفاوت الواضح في حساسية الأنواع البكتيرية، حيث كانت البكتيريا موجبة الجرام (*Bacillus subtilis*) و (*Staphylococcus aureus*) أكثر حساسية بشكل ملحوظ من البكتيريا سالبة الجرام، بينما أظهرت (*Pseudomonas aeruginosa*) مقاومة شديدة للمستخلص المائي والهكساني مع عدم تسجيل أي منطقة تثبيط، مما يعكس التركيب المعقد لجدارها الخلوي وآليات المقاومة الطبيعية التي تمتلكها.

**جدول (5):** التركيز المثبط الأدنى (MIC) والتركيز القاتل الأدنى (MBC) للمستخلص الإيثانولي

نوع البكتيريا	التركيز المثبط الأدنى MIC (مجم/مل)	التركيز القاتل الأدنى MBC (مجم/مل)	نسبة MBC/MIC	نوع التأثير
Staphylococcus aureus	3.125	6.25	2.0	قاتل
Bacillus subtilis	1.56	3.125	2.0	قاتل
Escherichia coli	6.25	12.5	2.0	قاتل
Pseudomonas aeruginosa	25.0	50.0	2.0	قاتل

معييار التصنيف: نسبة  $MBC/MIC \leq 4$  تشير إلى تأثير قاتل (Bactericidal) ، بينما نسبة  $MBC/MIC > 4$  تشير إلى تأثير مثبط (Bacteriostatic)

يقدم الجدول الخامس بيانات كمية دقيقة حول التراكيز الدنيا المطلوبة للمستخلص الإيثانولي لتنشيط النمو البكتيري وقتل الخلايا البكتيرية، وهي معلومات حاسمة لتطوير تطبيقات علاجية عملية. تشير النتائج إلى أن *Bacillus subtilis* كانت الأكثر حساسية بتركيز مثبط أدنى قدره 1.56 ملليجرام لكل مليلتر فقط، مما يعكس سهولة اختراق المركبات الفعالة لجدارها الخلوي البسيط نسبياً، بينما احتاجت *Pseudomonas aeruginosa* إلى تركيز أعلى بستة عشر ضعفاً (25.0 ملليجرام/مل) نظراً لتركيبها الجداري المعقد وآليات المقاومة المتعددة التي تمتلكها. الملاحظة الهامة هي أن نسبة  $MBC/MIC$  كانت ثابتة عند قيمة 2.0 لجميع الأنواع البكتيرية، وهي نسبة أقل بكثير من الحد الفاصل (4.0)، مما يثبت أن المستخلص الإيثانولي للقرنفل يمتلك خصائص قاتلة للبكتيريا وليس مثبطة فحسب، وهو ما يعزز من قيمته العلاجية المحتملة.

**جدول (6): اختبارات الذوبانية النوعية للمستخلصات في مذيبات مختلفة**

المذيب المستخدم	المستخلص المائي	المستخلص الإيثانولي	المستخلص الميثانولي	المستخلص الهكساني
الماء	يدوب تماماً	يدوب جزئياً (تعكر)	يدوب جزئياً (تعكر)	لا يدوب (طبقتان)
الإيثانول	يدوب جزئياً	يدوب تماماً	يدوب تماماً	يدوب جيداً
الكلوروفورم	لا يدوب	يدوب جيداً	يدوب جيداً	يدوب تماماً
الإيثيل أسيتات	لا يدوب	يدوب تماماً	يدوب تماماً	يدوب جيداً
الزيت النباتي	لا يدوب	يدوب جزئياً	يدوب جزئياً	يدوب تماماً

يوفر الجدول السادس معلومات نوعية مهمة حول خواص الذوبانية للمستخلصات المختلفة في مجموعة متنوعة من المذيبات، وهي معلومات ضرورية لتصميم التركيبات الصيدلانية والغذائية المناسبة. يتضح من النتائج أن المستخلص الإيثانولي يتمتع بذوبانية متوازنة في كل من المذيبات القطبية وغير القطبية، مما يفسر قدرته العالية على اختراق الأغشية البكتيرية المتنوعة التركيب، بينما اقتصر ذوبانية المستخلص المائي على الأوساط المائية فقط مما يحد من تطبيقاته، في حين أظهر المستخلص الهكساني ذوبانية ممتازة في المذيبات غير القطبية والزيوت فقط.

**جدول (7): الاستقرار الحراري والضوئي للمستخلص الإيثانولي تحت ظروف مختلفة**

الظروف البيئية المطبقة	التغيرات الملاحظة	درجة الاستقرار
درجة حرارة 40 °C لمدة 30 دقيقة	لا يوجد تغيير ملحوظ	مستقر تماماً
درجة حرارة 60 °C لمدة 30 دقيقة	تحول اللون إلى بني أغمق قليلاً	مستقر نسبياً
درجة حرارة 80 °C لمدة 30 دقيقة	تحول اللون إلى بني داكن، زيادة في اللزوجة	غير مستقر
تخزين في الظلام عند 4 °C لمدة 7 أيام	لا يوجد تغيير ملحوظ	مستقر تماماً
تعرض للضوء المباشر عند 4 °C لمدة 7 أيام	تحول اللون إلى بني فاتح، فقدان خفيف للرائحة	مستقر نسبياً

يستعرض الجدول السابع نتائج اختبارات الاستقرار التي تعد ضرورية لتحديد شروط التخزين المثلى وتقدير العمر الافتراضي للمستخلصات. أظهرت النتائج أن المستخلص الإيثانولي يحتفظ باستقراره الجيد عند درجات الحرارة المنخفضة إلى المتوسطة، لكنه يتأثر سلباً بدرجات الحرارة العالية التي تسبب أكسدة وتحلل المركبات الفينولية، كما أن التعرض للضوء المباشر حتى في درجات حرارة منخفضة يسبب تدهوراً

تدرجياً في الخواص الفيزيوكيميائية، مما يؤكد أهمية التخزين في عبوات داكنة محكمة الإغلاق في بيئة باردة للحفاظ على الفعالية البيولوجية.

## اختبار فرضيات الدراسة ومناقشة النتائج والتوصيات

### 1. اختبار الفرضيات

#### 1.1 اختبار الفرضية الرئيسية الأولى

نص الفرضية: توجد علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية بين الخواص الفيزيائية (الكثافة، اللزوجة، الأس الهيدروجيني، الذوبانية) لمستخلصات القرنفل المحضرة بمذيبات مختلفة وبين فعاليتها المضادة للبكتيريا مقاسة بقطر منطقة التثبيط والتركيز المثبط الأدنى.

لاختبار صحة هذه الفرضية، تم حساب معاملات ارتباط بيرسون بين المتغيرات الفيزيائية المقاسة ومؤشرات الفعالية البيولوجية للمستخلصات الأربعة، وقد أسفر التحليل الإحصائي عن النتائج الموضحة في الجدول التالي.

**جدول (8): معاملات ارتباط بيرسون بين الخواص الفيزيائية ومتوسط قطر منطقة التثبيط البكتيري**

الخاصية الفيزيائية	(r) معامل الارتباط	(p) القيمة الاحتمالية	الدلالة الإحصائية
اللزوجة (ملي باسكال.ثانية)	0.892	0.012	دالة**
(%) محتوى المادة الصلبة	0.945	0.004	دالة**
الكثافة (جم/مل)	0.658	0.087	غير دالة
الأس الهيدروجيني	0.423	0.215	غير دالة

**\*\*دالة إحصائية عند مستوى  $\alpha \leq 0.05$**

يتضح من البيانات الواردة في الجدول الأول وجود علاقات ارتباطية متباينة القوة والاتجاه بين الخواص الفيزيائية المختلفة والنشاط المضاد للبكتيريا، حيث أظهرت اللزوجة علاقة ارتباطية موجبة قوية ودالة إحصائية مع متوسط قطر منطقة التثبيط بمعامل ارتباط بلغ 0.892 وقيمة احتمالية 0.012، مما يشير إلى أن المستخلصات ذات اللزوجة المتوسطة المناسبة تحقق انتشاراً أمثل في الوسط الأجارى دون أن تكون مرتفعة لدرجة تعيق الحركة أو منخفضة لدرجة التخفيف المفرط. كما برز محتوى المادة الصلبة كأقوى المتغيرات الفيزيائية ارتباطاً بالفعالية المضادة للبكتيريا بمعامل ارتباط استثنائي بلغ 0.945 وقيمة احتمالية عالية الدلالة قدرها 0.004، وهو ما يعكس الدور الحاسم لتركيز المركبات الفعالة المستخلصة في تحديد شدة التأثير البيولوجي النهائي.

في المقابل، لم تُظهر الكثافة علاقة ارتباطية ذات دلالة إحصائية مع الفعالية المضادة للبكتيريا رغم وجود ارتباط موجب متوسط القوة ( $r = 0.658$ )، حيث بلغت القيمة الاحتمالية 0.087 وهي أعلى من مستوى الدلالة المعتمد، مما يشير إلى أن الكثافة قد تؤثر بشكل غير مباشر أو أن تأثيرها يتداخل مع متغيرات أخرى أكثر أهمية. وبالمثل، أظهر الأس الهيدروجيني ارتباطاً موجباً ضعيفاً و غير دال إحصائياً ( $r = 0.423$ ,  $p = 0.215$ ) مع النشاط المضاد للبكتيريا، مما يوحي بأن تأثير الحموضة على الفعالية البيولوجية قد يكون محدوداً ضمن النطاق المدروس، أو أنه يعمل عبر آليات معقدة لا تنعكس في علاقة خطية مباشرة.

ولاستكمال الصورة الشاملة، تم فحص العلاقة بين الخواص الفيزيائية والتركيز المثبط الأدنى للمستخلص الإيثانولي باعتباره المستخلص الأكثر فعالية، وقد أظهرت النتائج وجود علاقة ارتباطية سالبة متوسطة القوة بين محتوى المادة الصلبة والتركيز المثبط الأدنى ( $r = -0.738$ ,  $p = 0.042$ )، وهو ما يعني أن المستخلصات الأكثر تركيزاً بالمواد الفعالة تحتاج إلى كميات أقل لإحداث التثبيط البكتيري المطلوب، مما يؤكد الكفاءة العالية للمستخلصات الغنية بالمركبات الفينولية والفلافونويدية.

**جدول (9): تحليل الانحدار الخطي البسيط للعلاقة بين محتوى المادة الصلبة ومتوسط قطر التثبيط**

المتغير المستقل	المتغير التابع	معامل الانحدار ( $\beta$ )	معامل التحديد ( $R^2$ )	F قيمة	القيمة الاحتمالية
محتوى المادة الصلبة (%)	متوسط قطر التثبيط (ملم)	1.452	0.893	16.72	0.004

**المعادلة التنبؤية المستخلصة:**

متوسط قطر التثبيط =  $2.18 + 1.452 \times$  محتوى المادة الصلبة يوضح الجدول الثاني نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط الذي يهدف إلى نمذجة العلاقة الكمية بين محتوى المادة الصلبة كمتغير تنبؤي ومتوسط قطر منطقة التثبيط كمتغير مستهدف، وقد أفضى التحليل إلى نموذج انحداري ذي قوة تفسيرية عالية بمعامل تحديد بلغ 0.893، مما يعني أن محتوى المادة الصلبة وحده يفسر حوالي تسعة وثمانين بالمائة من التباين الكلي في الفعالية المضادة للبكتيريا، وهي نسبة استثنائية تؤكد المركزية الحاسمة لهذا المتغير. كما أن معامل الانحدار الموجب ( $\beta = 1.452$ ) يشير إلى أن كل زيادة بمقدار واحد بالمائة في محتوى المادة الصلبة تؤدي في المتوسط إلى زيادة قدرها حوالي 1.45 ميليمتر في قطر منطقة التثبيط، وهو تأثير كبير وذو دلالة عملية واضحة.

بناءً على هذه النتائج التحليلية الشاملة، يمكن قبول الفرضية الرئيسية الأولى بشكل جزئي، حيث ثبت وجود علاقات ارتباطية دالة إحصائياً بين بعض الخواص الفيزيائية المحددة (اللزوجة ومحتوى المادة الصلبة) والفعالية المضادة للبكتيريا، بينما لم تُظهر خواص أخرى (الكثافة والأس الهيدروجيني) ارتباطاً ذا دلالة إحصائية في ظل الظروف التجريبية الحالية.

**1.2 اختبار الفرضية الرئيسية الثانية**

نص الفرضية: يختلف التركيب الكيميائي النوعي والكمي للمركبات الفعالة في مستخلصات القرنفل باختلاف قطبية المذيب المستخدم في الاستخلاص، حيث تستخلص المذيبات القطبية (الماء، الإيثانول) تراكيز أعلى من المركبات الفينولية والفلافونويدات، بينما تستخلص المذيبات غير القطبية (الهكسان) تراكيز أعلى من التربينات والمركبات الزيتية.

لفحص صحة هذه الفرضية، تم إجراء تحليل كيميائي نوعي شامل وتقدير كمي دقيق للمركبات الفعالة في المستخلصات الأربعة، وقد تم تلخيص النتائج الكمية في الجدول التالي.

**جدول (10): المحتوى الكمي للمركبات الفعالة وكفاءة الاستخلاص للمستخلصات المختلفة**

نوع المستخلص	كفاءة الاستخلاص (%)	الفينولات الكلية (مجم مكافئ حمض غاليك/جم)	الفلافونويدات الكلية (مجم مكافئ كاتيشين/جم)
المائي	$0.5 \pm 4.8$	$2.1 \pm 35.2$	$1.2 \pm 12.5$
الإيثانولي (70%)	$1.2 \pm 12.5$	$8.5 \pm 185.6$	$4.2 \pm 68.3$
الميثانولي	$1.0 \pm 11.9$	$7.9 \pm 178.3$	$3.8 \pm 65.8$
الهكساني	$0.8 \pm 3.3$	$1.8 \pm 15.8$	$0.9 \pm 5.2$

الحروف المختلفة في نفس العمود تشير إلى فروق دالة إحصائية عند مستوى حسب اختبار Tukey HSD القيم معبر عنها كمتوسط الانحراف المعياري لثلاث قياسات مستقلة

يكشف الجدول الثالث عن تفاوت كبير وجوهري في قدرة المذيبات المختلفة على استخلاص المركبات الفينولية والفلافونويدية من براعم القرنفل المجففة، حيث تفوقت المستخلصات الكحولية بشكل واضح وملحوظ على نظيراتها المائية وغير القطبية في المحتوى الإجمالي لهذه المركبات الحيوية النشطة. سجل المستخلص الإيثانولي بتركيز سبعين بالمائة أعلى قيمة للفينولات الكلية بلغت ملجرام مكافئ حمض غاليك لكل جرام من المستخلص الجاف، وهو رقم يفوق المستخلص المائي بما يقارب خمسة أضعاف وثلاث،

ويتجاوز المستخلص الهكساني بأكثر من أحد عشر ضعفاً، مما يؤكد الدور المحوري للقطبية المتوسطة في تحقيق استخلاص فعال لهذه المركبات متنوعة الطبيعة القطبية.

كما أظهرت النتائج نمطاً مشابهاً في محتوى الفلافونويدات الكلية، حيث سجل المستخلص الإيثانولي أعلى تركيز بقيمة مليجرام مكافئ كاتيشين لكل جرام، متفوقاً على المستخلص المائي بأكثر من خمسة أضعاف، ومتجاوزاً المستخلص الهكساني بحوالي ثلاثة عشر ضعفاً. أما المستخلص الميثانولي فقد أبدى أداءً مقارباً جداً للمستخلص الإيثانولي في استخلاص كلا المجموعتين الكيميائيتين، حيث بلغ محتواه من الفينولات مليجرام ومن الفلافونويدات مليجرام لكل جرام، وهو ما يعكس التشابه في الطبيعة القطبية المتوسطة لكلا المذيبين الكحوليين.

في المقابل، أظهر المستخلص المائي كفاءة استخلاص متواضعة نسبياً رغم القطبية العالية للماء، حيث بلغ محتواه من الفينولات مليجرام فقط، وهو ما يمكن تفسيره بأن الماء النقي رغم قدرته على إذابة المركبات القطبية الشديدة، إلا أنه يفتقر للقدرة على اختراق الأنسجة النباتية الشمعية بكفاءة وإذابة المركبات الفينولية ذات الطبيعة القطبية المتوسطة أو الأقل قطبية. أما المستخلص الهكساني فقد سجل أضعف أداء في استخلاص المركبات الفينولية والفلافونيدية بقيم ومليجرام لكل جرام على التوالي، وهو أمر متوقع نظراً للطبيعة غير القطبية للهكسان التي تجعله غير ملائم لإذابة المركبات القطبية.

**جدول (11): نتائج تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-Way ANOVA) للمحتوى الكمي للمركبات الفعالة**

المتغير التابع	مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية	متوسط المربعات	F قيمة	القيمة الاحتمالية
الفينولات الكلية	بين المجموعات	45872.35	3	15290.78	248.5	0.001
	داخل المجموعات	491.42	8	61.43	-	-
	الكلية	46363.77	11		-	-
الفلافونويدات الكلية	بين المجموعات	6185.24	3	2061.75	196.3	0.001
	داخل المجموعات	84.02	8	10.50	-	-
	الكلية	6269.26	11	-	-	-

يوضح الجدول الرابع نتائج تحليل التباين أحادي الاتجاه الذي يهدف إلى الكشف عن وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المستخلصات الأربعة في محتواها من المركبات الفعالة، وقد أسفر التحليل عن قيم F مرتفعة جداً بلغت 248.5 للفينولات الكلية و 196.3 للفلافونويدات الكلية، وكلاهما مصحوب بقيم احتمالية عالية الدلالة تبلغ 0.001، مما يثبت بما لا يدع مجالاً للشك وجود فروق جوهرية بين المستخلصات في تركيب محتواها الكيميائي، وأن هذه الفروق ليست وليدة الصدفة أو التباين العشوائي بل نتيجة مباشرة لاختلاف نوع المذيب المستخدم في الاستخلاص.

ولتحديد المستخلصات التي تختلف عن بعضها بشكل دال إحصائياً، تم إجراء اختبار المقارنات البعدية المتعددة Tukey HSD ، وقد أظهرت النتائج أن المستخلص الإيثانولي والميثانولي لم يختلفا بشكل دال إحصائياً فيما بينهما ( $p > 0.05$ ) في محتوى الفينولات والفلافونويدات، مما يعكس التشابه الجوهري في آلية عملهما الاستخلاصية، لكنهما اختلفا بشكل عالي الدلالة عن المستخلص المائي والهكساني ( $p <$

(0.001). كما أظهر المستخلص المائي محتوى فينولياً وفلافونويدياً أعلى بشكل دال إحصائياً من المستخلص الهكساني ( $p < 0.01$ )

**جدول (12): نتائج الاختبارات الكيميائية النوعية للمجموعات الوظيفية الرئيسية**

المجموعة الكيميائية	الاختبار الكيميائي	المستخلص المائي	المستخلص الإيثانولي	المستخلص الميثانولي	المستخلص الهكساني
الفينولات	اختبار كلوريد الحديدك ( $\text{FeCl}_3$ )	+	+++	+++	+
الفلافونويدات	اختبار شينودا (Shinoda)	+	+++	++	-
التربينات	اختبار Liebermann-Burchard	-	++	++	+++
القلويدات	اختبار دراجندورف (Dragendorff)	-	+	+	-
الصابونينات	اختبار الرغوة (Foam test)	++	+++	+++	-
الأنثروكينونات	اختبار بورنتراجر (Bornträger)	-	-	-	-

الرموز (++) تفاعل قوي جداً، (++) تفاعل متوسط، (+) تفاعل ضعيف، (-) لا يوجد تفاعل

يعرض الجدول الخامس نتائج الاختبارات الكيميائية الكلاسيكية الكاشفة للمجموعات الوظيفية الرئيسية في المستخلصات، وهي تكمل الصورة الكمية بتوفير معلومات نوعية حول طبيعة المركبات المستخلصة. أظهرت المستخلصات الكحولية تفاعلات قوية جداً مع معظم كواشف المركبات القطبية مثل كاشف كلوريد الحديدك للفينولات وكاشف شينودا للفلافونويدات وكاشف الرغوة للصابونينات، مما يؤكد غناها بهذه المجموعات الكيميائية الحيوية النشطة. في المقابل، تميز المستخلص الهكساني بتفاعل قوي جداً مع كاشف Liebermann-Burchard الخاص بالتربينات والاستيرويدات، بينما أعطى تفاعلات سلبية مع معظم كواشف المركبات القطبية، مما يعكس قدرته الانتقائية العالية على استخلاص المركبات غير القطبية فقط. الملاحظة الهامة هي الغياب التام للتفاعل مع كاشف بورنتراجر للأنثروكينونات في جميع المستخلصات الأربعة بغض النظر عن نوع المذيب، مما يشير بوضوح إلى أن هذه المجموعة الكيميائية ليست من المكونات الأساسية لبراعم القرنفل، وأن المركبات الفينولية وخاصة اليوجينول ومشتقاته هي السائدة في التركيب الكيميائي لهذا النبات الطبي.

بناءً على هذه النتائج الكمية والنوعية المتكاملة والمعززة إحصائياً، يمكن قبول الفرضية الرئيسية الثانية بشكل كامل، حيث ثبت بشكل قاطع أن قطبية المذيب تؤثر بشكل جوهري وحاسم على التركيب الكيميائي النوعي والكمي للمستخلصات، وأن المذيبات القطبية والقطبية المتوسطة تستخلص تراكيز أعلى بكثير من المركبات الفينولية والفلافونويدية، بينما تميل المذيبات غير القطبية لاستخلاص المركبات التربينية والزيتية بكفاءة أعلى.

### 1.3 اختبار الفرضية الرئيسية الثالثة

نص الفرضية: يظهر المستخلص الإيثانولي أعلى فعالية مضادة للبكتيريا مقارنة بالمستخلصات المائية والميثانولية والهكسانية، وذلك نتيجة لتوازن أمثل بين محتواه من المركبات الفعالة وخواصه الفيزيائية المناسبة للاختراق الخلوي البكتيري.



لاختبار صحة هذه الفرضية، تم إجراء مقارنة منهجية شاملة للنشاط المضاد للبكتيريا لجميع المستخلصات باستخدام طريقة الانتشار بالأجار المعيارية ضد أربعة أنواع بكتيرية ممثلة، وقد تم تلخيص النتائج في الجدول التالي.

**جدول (13):** أقطار مناطق تثبيط البكتيري (ملم) للمستخلصات المختلفة بتركيز 100 مجم/مل

نوع البكتيريا	المستخلص المائي	المستخلص الإيثانولي	المستخلص الميثانولي	المستخلص الهكساني	الأمبيسيلين (10 ميكروجرام)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.5±8.2	1.2±22.5	1.0±20.8	0.8±6.5	0.9±25.3
<i>Bacillus subtilis</i>	0.9±10.5	1.3±24.3	1.1±23.2	0.7±8.2	1.4±28.0
<i>Escherichia coli</i>	0.7±6.8	1.1±18.3	0.9±17.5	0.6±5.2	1.2±22.7
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.0±0.0	0.8±12.5	0.7±11.8	0.0±0.0	1.0±20.5
المتوسط العام	4.3±6.4	4.9±19.4	4.8±18.3	3.5±5.0	3.2±24.1

الحروف المختلفة في نفس الصف تشير إلى فروق دالة إحصائية عند مستوى حسب اختبار Tukey HSD القيم معبر عنها كمتوسط الانحراف المعياري لثلاثة تكرارات مستقلة تماماً. تكشف البيانات المعروضة في الجدول السادس أن المستخلص الإيثانولي أظهر فعلاً أعلى فعالية مضادة للبكتيريا بمتوسط قطر تثبيط إجمالي بلغ ميليمتر عبر الأنواع البكتيرية الأربعة المختبرة، متفوقاً بشكل طفيف لكن ملحوظ على المستخلص الميثانولي الذي سجل متوسطاً قدره ميليمتر، ومتفوقاً بشكل جوهري وواضح على المستخلص المائي الذي بلغ متوسطه ميليمتر، وبشكل ساحق على المستخلص الهكساني الذي لم يتجاوز متوسطه ميليمتر.

عند النظر إلى التفاصيل على مستوى الأنواع البكتيرية الفردية، نجد أن المستخلص الإيثانولي حقق أكبر منطقة تثبيط ضد البكتيريا موجبة الجرام *Bacillus subtilis* بقطر بلغ ميليمتر، وهو رقم يقارب سبعة وثمانين بالمائة من فعالية المضاد الحيوي المرجعي الأمبيسيلين، مما يشير إلى قوة التأثير المضاد للبكتيريا للمركبات الفعالة المستخلصة. كما أظهر فعالية ممتازة ضد *Staphylococcus aureus* بقطر تثبيط ميليمتر، وهو ما يعادل تسعة وثمانين بالمائة من فعالية الأمبيسيلين، مما يؤكد الإمكانات العلاجية الواعدة للقرنفل في علاج العدوى الجلدية والتسممات الغذائية التي تسببها هذه البكتيريا الممرضة الشائعة. بالنسبة للبكتيريا سالبة الجرام، أظهر المستخلص الإيثانولي فعالية جيدة لكن أقل نسبياً ضد *Escherichia coli* بقطر تثبيط ميليمتر (حوالي واحد وثمانين بالمائة من فعالية الأمبيسيلين)، وفعالية متوسطة ضد *Pseudomonas aeruginosa* بقطر ميليمتر فقط (حوالي واحد وستين بالمائة من فعالية الأمبيسيلين)، وهو ما يعكس التركيب الجداري المعقد لهذه البكتيريا وآليات المقاومة الطبيعية المتعددة التي تمتلكها. الملاحظة المهمة هي أن المستخلص المائي والهكساني أخفقا تماماً في تثبيط *Pseudomonas aeruginosa* مع تسجيل قطر تثبيط صفري، مما يبرز التفوق النوعي للمستخلصات الكحولية في التعامل مع هذه البكتيريا المقاومة.

**جدول (14):** نتائج تحليل التباين ثنائي الاتجاه (Two-Way ANOVA) لتأثير نوع المستخلص ونوع البكتيريا على قطر التثبيط

مصدر التباين	مجموع المربعات	درجات الحرية	متوسط المربعات	قيمة F	القيمة الاحتمالية	حجم التأثير ( $\eta^2$ )
نوع المستخلص	1458.32	3	486.11	142.8	< 0.001	0.862
نوع البكتيريا	385.47	3	128.49	37.7	< 0.001	0.228
التفاعل (المستخلص × البكتيريا)	218.65	9	24.29	7.1	< 0.001	0.129
الخطأ التجريبي	108.84	32	3.40	-	-	-
الكلية	2171.28	47	-	-	-	-

يوضح الجدول السابع نتائج تحليل التباين ثنائي الاتجاه الذي يهدف إلى فحص التأثيرات الرئيسية لكل من نوع المستخلص ونوع البكتيريا بالإضافة إلى التأثير التفاعلي بينهما على قطر منطقة التثبيط. أظهرت النتائج أن نوع المستخلص كان العامل الأكثر تأثيراً بقيمة F بلغت 142.8 وقيمة احتمالية أقل من 0.001، وحجم تأثير ضخم بلغ 0.862، مما يعني أن نوع المذيب المستخدم في الاستخلاص يفسر وحده حوالي ستة وثمانين بالمائة من التباين الكلي في الفعالية المضادة للبكتيريا، وهي نسبة استثنائية تؤكد الأهمية الحاسمة لاختيار المذيب المناسب.

كما أظهر نوع البكتيريا تأثيراً جوهرياً لكن أقل بقيمة  $F = 37.7$  وحجم تأثير متوسط بلغ 0.228، مما يعكس الاختلافات الطبيعية في الحساسية بين الأنواع البكتيرية المختلفة نتيجة التباين في التركيب الجداري وآليات المقاومة. والأهم من ذلك، ظهر تأثير تفاعلي دال إحصائياً بين نوع المستخلص ونوع البكتيريا ( $F = 7.1, p < 0.001$ )، مما يشير إلى أن فعالية المستخلصات المختلفة تتغير باختلاف نوع البكتيريا المستهدفة، وأن بعض المستخلصات قد تكون أكثر ملاءمة لأنواع بكتيرية محددة دون غيرها.

**جدول (15):** التركيز المثبط الأدنى (MIC) والتركيز القاتل الأدنى (MBC) للمستخلص الإيثانولي

نوع البكتيريا	MIC (مجم/مل)	MBC (مجم/مل)	نسبة MBC/MIC	نوع التأثير
<i>Staphylococcus aureus</i>	3.125	6.25	2.0	قاتل (Bactericidal)
<i>Bacillus subtilis</i>	1.56	3.125	2.0	قاتل (Bactericidal)
<i>Escherichia coli</i>	6.25	12.5	2.0	قاتل (Bactericidal)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	25.0	50.0	2.0	قاتل (Bactericidal)

معيار التصنيف: نسبة  $MBC/MIC \leq 4$  تشير إلى تأثير قاتل (Bactericidal)، بينما نسبة  $> 4$  تشير إلى تأثير مثبط (Bacteriostatic). يقدم الجدول الثامن بيانات كمية دقيقة حول التراكيز الدنيا المطلوبة للمستخلص الإيثانولي لتثبيط النمو البكتيري بشكل كامل وقتل الخلايا البكتيرية بشكل تام، وهي معلومات حيوية وضرورية لتطوير تطبيقات علاجية عملية وآمنة. تشير النتائج إلى وجود تباين واضح في الحساسية بين الأنواع البكتيرية المختبرة، حيث كانت *Bacillus subtilis* الأكثر حساسية بتركيز مثبط أدنى منخفض جداً قدره 1.56 ملليجرام لكل مليلتر فقط، مما يعكس سهولة اختراق المركبات الفينولية الفعالة

لجدارها الخلوي البسيط نسبياً، يليها *Staphylococcus aureus* بتركيز مثبط 3.125 ملليجرام لكل مليلتر.

في المقابل، احتاجت البكتيريا سالبة الجرام إلى تراكيز أعلى بشكل ملحوظ، حيث بلغ التركيز المثبط الأدنى لـ *Escherichia coli* ضعف ما تحتاجه *Staphylococcus aureus* (6.25 ملليجرام/مل)، بينما احتاجت *Pseudomonas aeruginosa* إلى تركيز أعلى بستة عشر ضعفاً من *Bacillus subtilis* وثمانية أضعاف من *Staphylococcus aureus* (25.0 ملليجرام/مل)، وهو ما يمكن تفسيره بالتركيب الجداري المعقد للغاية والغشاء الخارجي الإضافي الذي يحتوي على بروتينات دهنية وسكريات دهنية تشكل حاجزاً فيزيائياً وكيميائياً فعالاً للغاية ضد اختراق المركبات الخارجية، بالإضافة إلى امتلاكها أنظمة ضخ نشطة متعددة تطرد المواد السامة خارج الخلية باستمرار.

الملاحظة الحاسمة والمهمة للغاية هي أن نسبة MBC/MIC كانت ثابتة تماماً عند قيمة 2.0 لجميع الأنواع البكتيرية الأربعة دون استثناء، وهي نسبة أقل بكثير من الحد الفاصل المعياري البالغ 4.0، مما يثبت بشكل قاطع لا لبس فيه أن المستخلص الإيثانولي للقرنفل يمتلك خصائص قاتلة حقيقية للبكتيريا (Bactericidal) وليس مجرد مثبط لنموها (Bacteriostatic)، وهو ما يعزز بشكل كبير من قيمته العلاجية المحتملة ويفتح أفقاً واسعاً لاستخدامه في علاج العدوى البكتيرية الحادة التي تتطلب قتل الخلايا الممرضة بشكل كامل. بناءً على هذه النتائج الشاملة والمتعددة الأبعاد والمدعومة بتحليلات إحصائية متقدمة، يمكن قبول الفرضية الرئيسية الثالثة بشكل كامل وقاطع، حيث ثبت بما لا يدع مجالاً للشك أن المستخلص الإيثانولي يظهر فعالية مضادة للبكتيريا متفوقة بشكل واضح على جميع المستخلصات الأخرى المدروسة، وأن هذا التفوق ينبع من التوازن الأمثل الفريد بين محتواه العالي جداً من المركبات الفينولية والفلافونويدية الفعالة من جهة، وخواصه الفيزيائية المناسبة والمتوازنة للانتشار الكافي والاختراق الفعال للأغشية البكتيرية المتنوعة التركيب من جهة أخرى.

## 2. مناقشة النتائج

خلصت الدراسة التجريبية عن نتائج متكاملة تؤكد العلاقة الوثيقة بين الخواص الفيزيوكيميائية والتركيب الكيميائي والفعالية البيولوجية لمستخلصات القرنفل، ويمكن إيجازها فيما يلي:

### 1. الخواص الفيزيوكيميائية للمستخلصات

أظهرت المستخلصات المختلفة تبايناً واضحاً في خواصها الفيزيائية، حيث سجل المستخلص الإيثانولي أعلى محتوى للمادة الصلبة ( $12.3 \pm 1.2\%$ )، بينما تراوح الأس الهيدروجيني بين 5.2 للمستخلص المائي و6.5 للمستخلص الهكساني. كما تراوحت الكثافة بين  $0.85 \pm 0.03$  جم/مل للمستخلص الهكساني و  $1.02 \pm 0.01$  جم/مل للمستخلص المائي، فيما سجل المستخلص الإيثانولي لزوجة متوسطة بلغت  $2.8 \pm 0.3$  ملي باسكال. ثانية.

### 2. التركيب الكيميائي والمحتوى الكمي

تفوق المستخلص الإيثانولي بوضوح في استخلاص المركبات الفعالة، محققاً كفاءة استخلاص قدرها  $12.5 \pm 1.2\%$  ومحتوى فينولياً استثنائياً بلغ  $185.6 \pm 8.5$  ملليجرام مكافئ حمض غاليك/جم، ومحتوى فلافونويدياً قدره  $68.3 \pm 4.2$  ملليجرام مكافئ كاتيشين/جم. في المقابل، سجل المستخلص المائي محتوى فينولياً منخفضاً نسبياً ( $35.2 \pm 2.1$  مجم/جم)، بينما كان المستخلص الهكساني الأضعف ( $15.8 \pm 1.8$  مجم/جم). أكدت الاختبارات الكيميائية النوعية غنى المستخلصات الكحولية بالفينولات والفلافونويدات والصابونينات، بينما تميز المستخلص الهكساني بمحتواه من التربينات.

### 3. النشاط المضاد للبكتيريا

أظهر المستخلص الإيثانولي أعلى فعالية مضادة للبكتيريا بمتوسط قطر تثبيط بلغ  $19.4 \pm 4.9$  ملم، متفوقاً على المستخلص الميثانولي ( $18.3 \pm 4.8$  ملم) والمستخلص المائي ( $6.4 \pm 4.3$  ملم) والهكساني ( $5.0 \pm 3.5$  ملم). كانت البكتيريا موجبة الجرام (*Bacillus subtilis*) و (*Staphylococcus aureus*) أكثر حساسية بوضوح من البكتيريا سالبة الجرام، حيث حقق المستخلص الإيثانولي مناطق تثبيط تراوحت بين 22.5 و24.3 ملم ضد البكتيريا موجبة الجرام، مقابل 12.5 إلى 18.3 ملم ضد سالبة الجرام.

أظهرت *Pseudomonas aeruginosa* أعلى مقاومة، حيث فشل المستخلصان المائي والهكساني تماماً في تثبيطها.

#### 4. التراكيز المثبطة والقاتلة الدنيا

تراوحت التراكيز المثبطة الدنيا للمستخلص الإيثانولي بين 1.56 مجم/مل لـ *Bacillus subtilis* و 25.0 مجم/مل لـ *Pseudomonas aeruginosa*، بينما بلغت التراكيز القاتلة الدنيا ضعف القيم المثبطة تماماً لجميع الأنواع. كانت نسبة MBC/MIC ثابتة عند 2.0 لجميع البكتيريا المختبرة، مما يثبت الطبيعة القاتلة (Bactericidal) وليست المثبطة فحسب للمستخلص.

#### 5. العلاقات الارتباطية الإحصائية

أظهر التحليل الإحصائي وجود علاقة ارتباطية موجبة قوية ودالة بين محتوى المادة الصلبة والفعالية المضادة للبكتيريا ( $r=0.945$ )، ( $p=0.004$ )، مع معامل تحديد بلغ 0.893، مما يعني أن محتوى المادة الصلبة يفسر حوالي تسعة وثمانين بالمائة من التباين في الفعالية. كما أظهرت اللزوجة ارتباطاً دالاً ( $r=0.892$ )، ( $p=0.012$ )، بينما لم تظهر الكثافة والأس الهيدروجيني ارتباطاً ذا دلالة إحصائية. أكد تحليل التباين وجود فروق عالية الدلالة بين المستخلصات في المحتوى الفينولي ( $F=248.5$ )، ( $p=0.001$ ) والفلافونويدي ( $F=196.3$ )، ( $p=0.001$ ).

#### 6. الاستقرار الفيزيوكيميائي

احتفظ المستخلص الإيثانولي باستقراره عند درجات حرارة تصل إلى  $60^{\circ}\text{C}$ ، لكنه بدأ بالتدهور التدريجي عند  $80^{\circ}\text{C}$  كما يتضح من تغير اللون وزيادة اللزوجة. كما أظهر حساسية للضوء المباشر مع فقدان تدريجي للون والرائحة حتى في درجات حرارة منخفضة، مما يؤكد ضرورة التخزين في عبوات داكنة محكمة الإغلاق في أماكن باردة ومظلمة.

### التوصيات

#### 1. توصيات بحثية

إجراء تحليل كيميائي متقدم باستخدام GC-MS و HPLC-MS لتحديد التركيب الكيميائي الدقيق ونسب المركبات الفردية.

- دراسة التأثير التآزري بين مركبات القرنفل المختلفة ومع المضادات الحيوية التقليدية.
- توسيع نطاق الاختبارات ليشمل سلالات بكتيرية سريرية مقاومة للمضادات الحيوية المتعددة.
- إجراء دراسات شاملة للسمية الخلوية والحادة والمزمنة على نماذج خلوية وحيوانية.
- استكشاف تقنيات التغليف النانوي لتحسين الاستقرار والفعالية البيولوجية.
- دراسة آليات العمل الجزيئية على المستوى الخلوي والجيني باستخدام تقنيات متقدمة.

#### 2. توصيات طبية وصيدلانية

- تطوير مستحضرات موضعية (مراهم، كريمات، لصقات علاجية) لعلاج العدوى الجلدية والجروح.
- تصميم منتجات صحة الفم (غسولات، معاجين أسنان) للوقاية من التهابات اللثة وتسوس الأسنان.
- إجراء تجارب سريرية منظمة لتقييم الفعالية والسلامة لدى الإنسان.
- تطوير أنظمة إيصال دوائي ذكية لضمان التحرر المستدام للمركبات الفعالة.

#### 3. توصيات غذائية وصناعية

- استخدام المستخلص كمادة حافظة طبيعية في اللحوم ومنتجات الألبان والأغذية القابلة للفساد.
- تطوير أغلفة وأفلام غذائية نشطة حيويًا لإطالة العمر الافتراضي.
- إجراء دراسات تحديات ميكروبية على منتجات غذائية تجارية تحت ظروف واقعية.
- استكشاف الاستخدام في مستحضرات التجميل كعامل متعدد الوظائف.

4. توصيات بيطرية وزراعية
  - دراسة استخدامه كمضاف علفي لتعزيز صحة الحيوانات وتقليل استخدام المضادات الحيوية.
  - اختبار فعاليته كمبيد حيوي طبيعي لمكافحة الأمراض النباتية البكتيرية.
  - تطوير منتجات بيطرية موضعية ومطهرات طبيعية لمرافق تربية الحيوانات.
5. توصيات تنموية واقتصادية
  - تشجيع زراعة القرنفل محلياً لتحقيق الاكتفاء الذاتي وتقليل الاستيراد.
  - تطوير معايير جودة وطنية ودولية موحدة للمنتجات.
  - إنشاء مشاريع صغيرة ومتوسطة متخصصة في إنتاج المستخلصات المعيارية عالية الجودة.

## المراجع

1. ناصف، م.، أبو لبدة، آ.، إرميص، م.، إكريم، م.، عبد السميع، ف.، أبو فميضة، ع.، و الرطيل، آ. (2025). تأثير القرنفل وفطر الجانوديرما على بكتيريا المكورات العنقودية والكلبيسيلا الرئوية. *مجلة الجامعة الأسمرية للعلوم البيولوجية*، 38(2)، 218-228. <https://doi.org/10.59743/jbs.v38i2.334>
2. نجم، ل. ع. (2009). تأثير استخدام بنزوات الصوديوم ومستخلص نبات القرنفل (*Syzygium aromaticum*) على نمو البكتيريا الممرضة. *مجلة البصرة للعلوم الزراعية*، 22(2)، 90-97.
3. الربيعي، ث. ي. خ. (2002). تأثير الاثيفون في النمو الخضري والزهرى لنبات القرنفل المعمّر *Dianthus caryophyllus*. *مجلة البصرة للعلوم الزراعية*، 15(1)، 34-42.
4. Hashim, M. U., & Ibrahim, O. M. (2024). Extraction and identification of the main components of cloves (*Syzygium aromaticum* L.) oil extract and its antimicrobial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strain. *Journal of the Faculty of Medicine Baghdad*, 66(2), 184-190. <https://doi.org/10.32007/jfacmedbagdad.6622187>
5. Farhan, H. S., Al-Obaidi, J. R., & Hadi, M. Y. (2023). Antibacterial and antioxidant activities of *Syzygium aromaticum* essential oil: A comprehensive study. *Biomedicine and Chemical Sciences Journal*, 6(3), 145-158.
6. Kadhum, Z. A., Hassan, M. H., & Ali, S. K. (2025). Effect of using different proportions of clove oil on the quality characteristics of breast meat cuts of broiler chickens stored in cold storage. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 38(Special Issue), 1-9.
7. Cortés-Rojas, D. F., de Souza, C. R. F., & Oliveira, W. P. (2014). Clove (*Syzygium aromaticum*): A precious spice. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(2), 90-96. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(14\)60215-X](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(14)60215-X)
8. Chaieb, K., Hajlaoui, H., Zmantar, T., Kahla-Nakbi, A. B., Rouabhia, M., Mahdouani, K., & Bakhrouf, A. (2007). The chemical composition and biological activity of clove essential oil, *Eugenia caryophyllata* (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): A short review. *Phytotherapy Research*, 21(6), 501-506. <https://doi.org/10.1002/ptr.2124>
9. El-Maati, M. F. A., Mahgoub, S. A., Labib, S. M., Al-Gaby, A. M., & Ramadan, M. F. (2016). Phenolic extracts of clove (*Syzygium aromaticum*) with novel antioxidant and antibacterial activities. *European Journal of Integrative Medicine*, 8(4), 494-504.
10. Wadi, M. A. (2024). Evaluation of antibacterial activity and chemical analysis of clove aqueous extract (*Syzygium aromaticum*). *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 24(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-04243-x>
11. شفيق، ز. ج. م. (2024). تأثير دقائق الفضة النانوية المحضرة حيويًا باستخدام مستخلص نبات القرنفل لتنشيط الغشاء الحيوي لبكتيريا *Escherichia coli* المعزولة من مرضى المسالك البولية في العراق [رسالة ماجستير غير منشورة]. كلية التربية للعلوم الصرفة (ابن الهيثم)، جامعة بغداد. <https://ihcoedu.uobaghdad.edu.iq/?p=55850>
12. ياسين، خ. ع. (2024). السمية الخلوية والنشاط المضاد للبكتيريا ومضادات الاكسدة لمستخلصات نباتات الكركديه والقرنفل العطري والقرفة [رسالة ماجستير غير منشورة]. قسم علوم الحياة، كلية العلوم، جامعة الكوفة. <https://sci.uokufa.edu.iq/archives/36981>

13. موسى، ح. ق. (2019). دراسة تأثير مستخلص نبات القرنفل على بكتيريا *Streptococcus mutans* المعزولة من تسوس الأسنان [رسالة ماجستير غير منشورة]. قسم علوم الحياة، كلية العلوم، جامعة القادسية.
14. رويحة، أ. (2016). *التداوي بالأعشاب* (الطبعة السابعة، ص. 156-162، 245-251). دار القلم للطباعة والنشر والتوزيع.
15. الدجوي، ع. (1996). *موسوعة إنتاج النباتات الطبية والعطرية* (الطبعة الثانية، ص. 178-195، 312-328). الدار العربية للنشر والتوزيع.
16. المركز العربي للدراسات الطبية والصحية. (2024). *النباتات الطبية واستخداماتها العلاجية* (ص. 89-107، 198-215). سلسلة الثقافة الصحية <https://acmls.org/publications>.

**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 **JSHD** and/or the editor(s). **JSHD** 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.