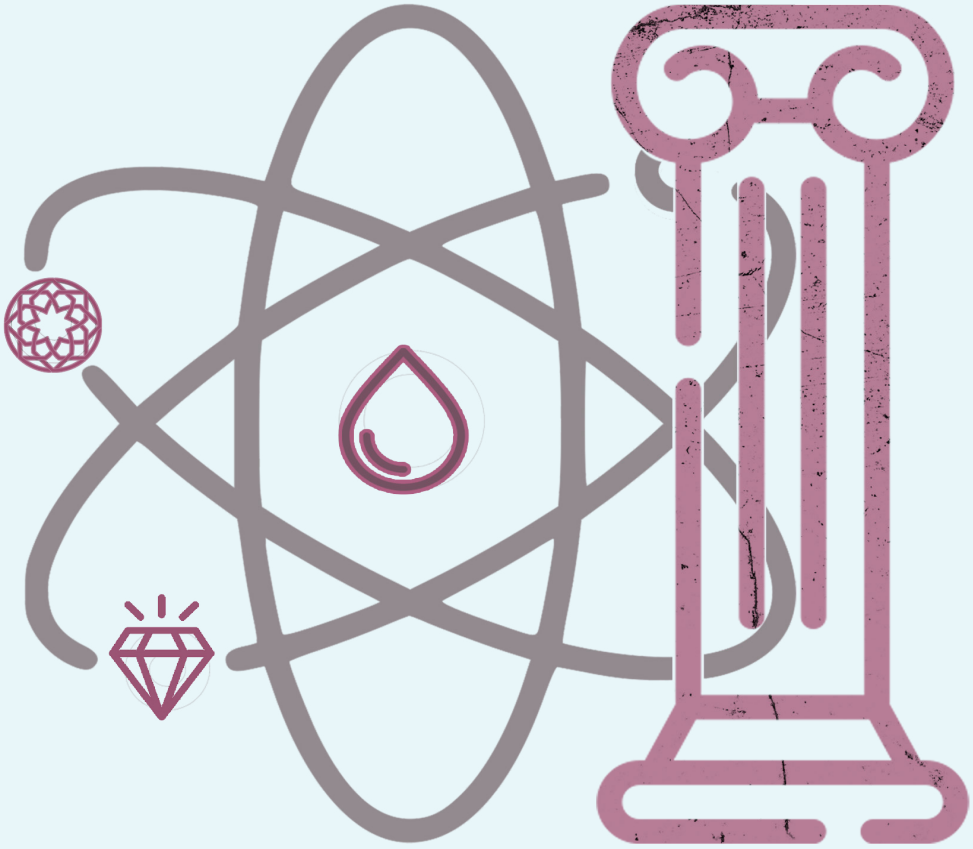
المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

Vol 3 issue 2 2022

تجديد الأصول : نشأة الفكر العلمي والفلسفي في الحضارة الإسلامية

استسقاء العين بين الحاضر والماضي



مناجم الزمرد في التراث العربي الاسلامي

المرشحات المتداخلة: تقنية بيئية منخفضة التكلفة لمعالجة المياه

منظمة المجتمع العلمي العربي
Arab Scientific Community Organization

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

الفهرس

01
ورقة بحثية
تجديد الأصول: نشأة الفكر العلمي والفلسفي في الحضارة الإسلامية
رشدي راشد

07
ورقة بحثية
قراءة وتعقيب على مقال «استسقاء العين» - ورقة بحثية نشرت عام 1925
أحمد عبد الوارث محمد ، عبد الرحمن الحسيني

30
ورقة بحثية
مناجم الزمرد في التراث العربي الإسلامي: نصوص مُهملة في التدوين الحديث لتاريخ التعدين
خلاف الغالبي

37
ورقة بحثية
تأثيرات الكادميوم في السمّية الحادة لمبيدات حشرية مثبطة لنشاط إنزيم الكولين إستيريز في الفئران
بنان خالد البكوع ، فؤاد قاسم محمد

45
ورقة بحثية
المرشحات المتداخلة: تقنية بيئية منخفضة التكلفة لمعالجة المياه العادمة اللامركزية وإعادة استخدامها
علي محسن ، سمية بلوافا ، سليمان الحرفاوي ، زكية زميرلي ، خالد ديكا ، حسن الشاعر

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

الفهرس

ورقة بحثية

59 **تأثير الرش بتركيزات مختلفة من المستخلص المائي لفصوص الثوم في صفات النمو الزهري والمحصول لنبات الخيار (*Cucumis sativus* L.) صنف (*Beit Alpha*) تحت الظروف المناخية لمدينة إب في اليمن**

عبد الله حمود عبد الله الحاج ، يحي عبد الجليل العريقي ، أحمد محمد عيد

ورقة بحثية

65 **تأثير إضافة بعض المضافات الغذائية إلى وسط زراعة فطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*) في إنتاجيته ونوعيته**

بشرى هولا ، رمزي مرشد ، فهد البيسكي ، حجازي محمد حسين مندو

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.6
المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 6

ورقة بحثية

تجديد الأصول: نشأة الفكر العلمي والفلسفي في الحضارة الإسلامية

رشدي راشد[1]

[1] المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي، جامعة باريس، فرنسا
[2] أستاذ فخري بجامعة طوكيو، اليابان، متخصص في فلسفة وتاريخ الرياضيات والعلوم
Email: rashed@paris7.jussieu.fr *

الملخص

يهدف هذا المقال إلى بيان أن نشأة الفكر العلمي والفلسفي في الحضارة الإسلامية لم يكن بنقل الأصول الموروثة فحسب، ولا سيما من الحضارة اليونانية، ولكن بتجديد هذه الأصول وتطويرها ببحثٍ نشط وخلّاق، وقد قاد هذا البحثُ النقلَ، وليس العكس.

Title

Renewing the resources: birth and elaboration of the scientific and philosophical thought in the Islamic civilization

Roshdi Rashed[1,2]

[1] Emeritus Research Director, The National Center for Scientific Research, Paris-Cité University, France
[2] Emeritus Professor at the University of Tokyo, Japan

Abstract

This article intends to explain that the birth and elaboration of scientific and philosophical thought in the Islamic civilization was not only attained by the translation of inherited sources, in particular the Greek civilization, but also these resources were renewed and developed via active and creative research. It is this research that has guided this translation and not the other way around.

يُجمع مؤرخو العلوم العربية والفلسفة الإسلامية، على اختلاف انتماءاتهم الفكرية، على القول بأهمية الأصول اليونانية، ويعرفون حق المعرفة أنهم إذا أهملوا الأخذ بها فلن يمكنهم بحالٍ فهم نشأة الفكر العلمي والفلسفي في الإسلام، ومن بعد في أوروبا اللاتينية. ولا يدعو هذا الإجماع إلى الدهشة؛ إذ يكفي الاطّلاع على التطور الفعلي لحقول العلوم والفلسفة في الإسلام لمعرفة أثر هذه الأصول، بل يكفي قراءة ما أتى به المؤرخون ومؤلفو كتب الطبقات كإسحاق النديم مثلاً. ويعرف مؤرخو العلوم والفلسفة أيضاً تعدّد هذه الأصول وكثرتها، مما ميّز ظاهرة الترجمة من اليونانية إلى العربية من كل الظواهر المماثلة، مثل الترجمة سواء من اليونانية إلى السريانية أو من العربية إلى اللاتينية فيما بعد.

وعلى الرغم من ذلك، فإن هذه الأصول لم تحظَ بالاهتمام الذي تستحقه؛ فلم يزل أكثرها لم يُحقَّق بعدُ التحقيقَ المتأني المطلوب، ولم يُدرس حق الدراسة. هذا هو حال **المجسطي** بطليموس، و**الأصول** لإقليدس، وكتب جالينوس على سبيل المثال، وهو أيضاً حال الكثير من الأصول الفلسفية رغم ما بذله عبد الرحمن بدوي من جهد مشكور؛ إذ إن المسؤول عن ذلك هو غياب المؤسسات الجادة لتهيئة المتخصصين في الوطن العربي والإسلامي.

حقاً، لقد قام بعض المستشرقين مشكورين منذ القرن التاسع عشر بدراسة ترجمة هذا الأصل أو ذاك إلى العربية. إلا أن القصد لم يكن معرفة دور هذه الأصول في تكوين الفكر العلمي والفلسفي العربي، وإنما ترميم المؤلفات اليونانية التي فُقدت في لغتها الأم ولم تبقَ إلا ترجمتُها العربية؛ وذلك لمعرفة التراث اليوناني. وأدّى هذا النحو من الدراسة إلى نسيان ما هو أساسي في ظاهرة النقل، أعني دوافعَه وامتداداته والصور المختلفة التي اتخذها، أو بعبارة أخرى دوره في نشأة الفكر العلمي والفلسفي بالعربية.

Received 17 July 2022; accepted 26 July 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Rashed R. Renewing the resources: birth and elaboration of the scientific and philosophical thought in the Islamic civilization. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.6. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.6

ولفهم هذه الظاهرة، علينا إذاً التخلّي عن مفهوم النقل والترجمة المهيمن والمنتشر، بل أن نرجع إلى تاريخ نشأة الفكر العلمي والفلسفي ودور الأصول اليونانية فيه. حينئذٍ، سنرى أن هذا النقل لم يكن نقلَ نسخٍ وتقليد واستيعاب، ولكنه كان نقل إصلاحٍ وتجديد، أدى إلى خلق فكر علمي وفلسفي مبتكر. وهذا ما سأحاول بيانه رغم ضيق المساحة هنا وقصر الباع. وسأقتصر في عرضي هذا إذاً على بعض الأمثلة، وخاصة الكندي العالم والفيلسوف.

وأود قبل الحديث عن نقل الأصول أن أشير إلى ثلاثة أمور: أولها، عدم التواصل التاريخي للبحث العلمي رغم التواصل الحضاري والثقافي في شرق حوض البحر الأبيض المتوسط؛ وثانيها، البعد الاجتماعي لظاهرة نقل الأصول اليونانية إلى العربية؛ وثالثها، هو الموقف المعرفي الذي تبنّته جمهرة العلماء والفلاسفة إزاء الإرث العلمي والفلسفي اليوناني.

يرجع عدم تواصل البحث العلمي بين الفترة الهلنستية وما بعدها إلى توقّف البحث الخلّاق في الرياضيات والعلوم باليونانية في غضون القرن الثالث الميلادي. ففي هذا القرن والقرن الذي يليه غلب الشرح على الابتكار، كما يشهد على ذلك أعمال پاپوس الإسكندراني في القرن الثالث، وأعمال ثيون الإسكندراني في القرن الرابع وابنته هيبثيا. كانت الفلسفة أسعد حظاً من العلوم، إلا أنها أصبحت هي الأخرى فلسفة كبار الشرّاح مثل سنبلقيوس ويوحنا النحوي. وعلى تصاريف الأحوال، خمدت نار الفكر واختفت آثار الأعمال المهمة قبل ظهور الإسلام بقرن على الأقل.

أما عن البعد الاجتماعي لظاهرة نقل الأصول اليونانية إلى العربية، فلم يُدرس بعد. ولكن يمكن لفت النظر إلى أمرين مهمين، أولهما هو نقل دواوين الدولة البيزنطية وترجمتها إلى العربية قبل نقل النصوص العلمية والفلسفية. وخلال نقل هذه الدواوين وترجمتها، نُقل معها كثير من المعارف المرتبطة بها، أعني من حساب وهندسة أولية وتقنيات متعددة. وفي هذه الفترة التي شهدت تعريب الدواوين والنقود وأسلمة المجتمع، خاصة في خلافة هشام بن عبد الملك (724-743م)، أخذ البعض المبادرة لنقل بعض الأعمال اليونانية، ويدل على هذا ما يُروى عن خالد بن يزيد وغيره. وسواء أكانت هذه الروايات صحيحة أم لا، فهي تدل على بداية الاهتمام بالترجمة لتلبية حاجات آنية، وذلك بفضل مبادرات فردية. وبعد هذه الفترة، ومع بداية الدولة العباسية، تكاثر عدد الترجمات وبدأت ترجمة الأصول، ولعل أولها كان نقل «مقدمة» ثيون الإسكندراني لكتاب **المجسطي** لبطليموس، وهي الترجمة التي وصفها النديم في **الفهرست** بأنها «نقل قديم».

أدّت سياسة تنفيذ المشاريع الضخمة التي ارتبطت بانتقال السلطة إلى العباسيين، وخاصة التخطيط للمدن بما استلزمته من معارف فلكية وهندسية وحسابية، إلى تشجيع الترجمة كما يشهد على ذلك ما جرى في خلافة أبي جعفر المنصور (754-775م)؛ فحين تأسيس بغداد مثلاً ظهرت مسائل جديدة حثّت على البحث في تأليف الجداول الفلكية، والمعارف الجغرافية الرياضية، وكذلك بعض المعلومات الهندسية مثل إسقاط الكرة على سطح مستوٍ ... إلخ. وهنا بدأت ترجمة بعض الأصول. وباختصار شديد، كان لتدخّل السلطة السياسية ودعوتها إلى نقل بعض الأصول اليونانية وكذلك بعض الأصول من لغات أخرى، وذلك للإجابة عن حاجات بحث جديد، جُلُّ الأثر لبداية مرحلة ثانية من مراحل الترجمة، مع بدايات الخلافة العباسية.

بقي الموقف المعرفي لعلماء هذه الفترة، وهنا سأترك الكلمة لأبي يوسف الكندي؛ إذ يقول: «وينبغي لنا ألا نستحْيِيَ من استحسان الحق، واقتناء الحق، من أين أتى، وإن أتى من الأجناس القاصية عنا، والأمم المباينة، فإنه لا شيءَ أوْلى بطالب الحق من الحق، وليس يَخُسُّ الحقُّ ولا يصغر بقائله، ولا بالآتي به، ولا أحدَ يَخُسُّ بالحق، بل كلٌّ يشرفه الحق». ويقصد الكندي بالأجناس البعيدة والأمم المباينة: اليونان خاصة. ويعبّر موقف الكندي هذا عن موقف عام، فلم يُرفض العلم على أنه دخيل، ولم ينظر إلى الأوائل شزراً ولا إلى أفكارهم بغضاً، إلا في فترات متأخرة ضعُف فيها المجتمع الإسلامي وفي حلقات المتزمتين.

إلا أن تبجيل الأوائل لم يَحُل دون الخلق والابتكار، كما لم يحُل دون النقد والاعتراض. فالكندي نفسه لم يتردد كما سنرى في نقد إقليدس، أو كما قال «لا شيءَ أولى بطالب الحق من الحق».

نُقلت بعض الأصول اليونانية وكذلك بعض الأصول من لغات أخرى. وقد يعود إلى هذه المرحلة الوسيطة عدةٌ ترجمات قديمة بقيت مجهولة حتى عهد قريب. وتسارعت حركة النقل هذه لتدخل مرحلة ثانية، حيث أصبحت الترجمة (مؤسسة) ومهنة في آن واحد. وتميزت هذه المرحلة من تلك التي سبقتها بعدد الأصول المترجمة وتنوعها، ومهارة المترجمين وتخصصهم، وأصبحت الترجمة مهنة علمية ومؤسسة. وقد بدأ هذا التحول في عهد المأمون واستمر في تصاعدٍ مع خلفائه، ويعود إلى أسباب عدة، أحدها هو التحول في المجموعة الإجمالية للمعارف؛ إذ في الفترة بين منتصف القرن الثامن الميلادي ومنتصف القرن التاسع ظهرت عدة علوم ترتبط مباشرة بالمجتمع الجديد، بعقيدته وبتنظيمه؛ فظهرت مثلاً العلوم اللازمة لفهم النصوص الدينية وتفسيرها، وظهر كذلك طيف كامل من العلوم اللغوية بما فيه علم المعاجم المبني على بحث جديد في علم الأصوات وعلى وسائل رياضية (التحليل التوافيقي) مع الخليل بن أحمد، وكذلك علم الكلام بمدارسه المتعددة، وأيضاً العلوم التاريخية بما فيها علم الرجال والتحليل النقدي، وكذلك الفقه ومدارسه، وأصول الفقه، وعلم الفرائض، وحتى حساب الفرائض كما نجده عند الشيباني مثلاً، وكذلك علم التفسير ... إلخ.

وقد بيّنتُ عند تحقيقي كتاب محمد بن موسى الخوارزمي في الجبر ما تدين به نشأة هذا العلم الجديد إلى علم اللغة وحساب الفرائض عند الفقهاء من مدرسة أبي حنيفة. ونرى إذاً أن موسوعة العلوم أضحت في نهاية القرن الثامن وبداية القرن التاسع الميلاديَّين بعيدة كل البعد عن الموسوعة اليونانية. وسيقدّم أبو نصر الفارابي لاحقاً في كتابه **إحصاء العلوم** لوحة إجمالية عن محتوى هذه الموسوعة الجديدة؛ إذ إنها لم تعكس تنوع العلوم وثقافة العصر فحسب، بل عكست أيضاً ظاهرة جديدة، وهي ظاهرة الاختصاص المتزايد.

لم يعد كافياً القول بأن هذا العالِم أو ذاك ينتمي أساساً إلى فن أو فنين مترابطين - كونه متكلماً وفقيهاً مثلاً - أو بل يجب داخل الفن نفسه تحديد المدرسة التي ينتمي إليها: الكوفة أو البصرة لعالم النحو، أو البصرة وبغداد للمتكلم ... إلخ؛ ذاك أن عدد المتخصصين قد زاد باستمرار، مما أدّى إلى تكوين مجتمع من العلماء والمثقفين في حاجة إلى معارف جديدة في الفلسفة، وفي الفيزياء لمناقشة مسألة الجوهر الفرد مثلاً، وفي علم الهيئة، ومن ثم في الرياضيات ... إلخ. واستدعت وظائف الديوان، وكذلك وظيفة (الكاتب) والمحتسب وغيرهما إلى ثقافة عامة في ميادين متعددة: الحساب، والفقه، والأدب ... إلخ. وهكذا أصبح لعلوم الأوائل - من فلك ورياضيات ومناظر وغيرها - حاجة وجمهور، مما يفسر ازدياد الطلب على الترجمة وتحوّلها إلى مؤسسة، كما حُوّل الإرث اليوناني نفسه إلى مؤسسة، أو بعبارة أخرى كان البحث فيما يمكن أن نسميه الآن العلوم الإنسانية والاجتماعية هو الذي هيّأ الطريق إلى البحث في العلوم الرياضية وغيرها، ومن ثم إلى نقل علوم الأوائل.

أما عن هذه المؤسسات الجديدة، فلم تكن تضم أفراداً فحسب كما كان الحال في السابق، بل مجموعات وفرقاً متنافسة، مثل مجموعة الكندي ومساعديه، ومجموعة بني موسى وفريق حنين بن إسحاق ... إلخ. وشكّل كل ذلك وسائل لدمج الإرث اليوناني في المدينة العلمية الجديدة. على سبيل المثال: ضم «بيت الحكمة» الذي أسسه المأمون في بغداد علماء فلك مثل

يحيى بن أبي منصور، ومترجمين من اليونانية مثل الحجاج بن مطر - مترجم كتاب **الأصول** لإقليدس و**المجسطي** لبطليموس - وعلماء رياضيات، منهم الخوارزمي؛ كما ضم لاحقاً فريق بني موسى.

يُظهر تنظيم الترجمة في تلك الحقبة سمتين مترابطتين: أولاهما أن الترجمة جرت على نطاق واسع ولم تقتصر على المؤلفات ذات الهدف التطبيقي أو العملي؛ وثانيتهما أنه قد جرى أكثر من مرة إعادة ترجمة كتاب تُرجم من قبل في المرحلة الأولى أو في بداية المرحلة الثانية. وهكذا تُرجم كتاب **الأصول** لإقليدس ثلاث مرات، وترجم **المجسطي** على الأقل ثلاث مرات أيضاً. وتجاوبت إعادة الترجمة هذه مع تغير معايير الترجمة؛ إذ أصبحت الترجمة عمل أفراد ينتمون إلى مدارس ومجموعات متنافسة، وأصبح المترجم ذا تكوين متعدد، فهو يعرف اليونانية والسريانية، ويجيد العربية، كما أنه خبير في العلم الذي يترجمه، ولعل سيرة حنين بن إسحاق المعروفة خير دليل على هذا؛ فقد تعلّم الطب عند يوحنا بن ماسويه، ثم ذهب إلى البصرة ليتقن العربية على يدي الخليل بن أحمد، ورحل إلى إحدى المدن اليونانية لإتقان اللغة اليونانية. وتكشف كل هذه السمات التي اتسمت بها الترجمة في مرحلتها الثانية عن ظاهرة لم يُلتفت إليها، وهي الصلة الحميمة بين نقل الأصول والبحث العلمي، وهذه العلاقة هي التي سأقف عليها الآن.

لا يمكن بحال فهم نقل الأصول من اليونانية إلى العربية إذا نسينا البحث العلمي والفلسفي؛ فالبحث العلمي والفلسفي كان الضوء الهادي لاختيار الكتب التي تُرجمت، وهو الذي حدّد معايير الترجمة. وسأستعين ببعض الأمثلة لتوضيح هذه الجدلية بين النقل والبحث، ويخضع اختيار هذه الأمثلة لتعبيرها عن ظروف وأوضاع مختلفة. وسآخذ هذه الأمثلة من علم المناظر وعلم الهندسة وعلم العدد وعلم الهيئة.

وسأبدأ بعلم المناظر وبعناوين الأصول اليونانية التي نُقلت إلى العربية وأسماء مؤلفيها.

1. كتاب **المناظر** لإقليدس، الذي تُرجم إلى العربية مرتين على الأقل، إحداهما قبل منتصف القرن التاسع الميلادي، وقد شرح الكندي هذا الكتاب شرحاً نقدياً انطلاقاً من أبحاثه في علم المناظر.
2. كتاب **المناظر** لبطليموس، وهو أهم ما كُتب في اليونانية في هذا العلم. إلا أنه فُقد نصّه اليوناني، كما فُقدت ترجمته العربية التي لم تتم على الأرجح قبل نهاية القرن التاسع الميلادي؛ أي بعد وفاة الكندي، ولم يبقَ من هذا الكتاب سوى الترجمة اللاتينية للترجمة العربية.
3. كتاب **علم انعكاس الضوء** المنسوب إلى إقليدس. ولقد بيّنا وجود آثار منه بالعربية، خصوصاً في كتاب قسطا بن لوقا **في علل ما يعرض في المرايا من اختلاف المناظر**.
4. كتاب **المرايا المحرقة** لديوقليس، وقد فُقد الأصل اليوناني ولم يبقَ إلا النقل العربي، وهو نقل مبكر كما يتبين من فحص المفردات والعبارات المستخدمة.
5. **المرايا المحرقة** (المفارقات الميكانيكية) لأنثميوس الترالّي. النص اليوناني الذي وصل إلينا غير كامل. وقد تُرجم هذا الكتاب إلى العربية مرتين أو ربما ثلاثاً. جرت الترجمة الأولى قبل منتصف القرن التاسع الميلادي، وفيما بعد جرت الترجمة الثانية. وقد انتقد الكندي أنثميوس وأصلح بعض براهينه في كتابه **في الشعاعات الشمسية**. وطور هذا الكتاب فيما بعد عطارد الحاسب في القرن العاشر الميلادي.
6. كتاب **المرايا المحرقة وجوامع المخروطات**، وهو ترجمة عربية لكتاب يوناني مفقود لمؤلف اسمه دترمس لم نهتدِ لهويته بعد.

يضاف إلى هذه المجموعة عدة عناوين أقل أهمية ككتاب **علم انعكاس الضوء** لهيرون الإسكندراني، وقد بقيت عدة مقاطع من ترجمة عربية قديمة له.

هذه هي مجمل النصوص التي نُقلت إلى العربية في علم المناظر وعلم انعكاس الضوء. ومنها نستخلص النتائج التالية:

1. نُقلت إلى العربية المؤلفات اليونانية الأساسية في هذا الحقل.
2. نُقل النص نفسه أكثر من مرة أحياناً.
3. نُقلت عدة مؤلفات إلى العربية قبل منتصف القرن التاسع الميلادي.
4. خضعت هذه الأصول منذ البداية لنقد وتجديد؛ مما يبيّن أنها تُرجمت من أجل البحث العلمي.

ولبيان هذا، فلنأخذ على سبيل المثال كتاب **المفارقات الميكانيكية** لأنثميوس الترالي. وقد نُقل هذا الكتاب إلى العربية في الوقت الذي بدأ فيه الكندي وقسطا بن لوقا البحث في هذا الميدان. كتب الكندي رسالة كاملة عن المرايا المحرقة، ينتقد فيها مواضع الضعف في كتاب أنثميوس، ويبرهن على مجموعة كبيرة من النتائج الجديدة. وأدّى هذا التقدم الذي أحرزه الكندي وآخرون من بعده إلى نتيجة فيها شيء من المفارقة؛ فمن ناحية حثّ هذا التقدم على القيام بترجمة جديدة أفضل من الترجمة الأولى لكتاب أنثميوس استخدمها خلفاء الكندي مثل عطارد وابن عيسى، ومن ناحية أخرى أدّى إلى حصر دور ترجمة هذا الأصل اليوناني في قيمته التاريخية فحسب. وبالفعل، لم يبق لكتاب أنثميوس فيما بعد، عند العلاء بن سهل وابن الهيثم بعده سوى ذكرى باهتة؛ أقصد لم يذكر إلا عند التأريخ لهذا الفصل من المناظر.

وما جرى مع أنثميوس جرى أيضاً مع أصل من أصول علم المناظر، أعني **المناظر** لإقليدس. صاغ الكندي أول شرح نقدي معروف في التاريخ لكتاب إقليدس هذا، ويبين عنوان كتابه بصورة جلية قصده؛ وهو **تصحيح الخطأ والمشكلات التي لأوقليدس في كتابه الموسوم بالمناظر**. كتب الكندي كتابه هذا بعد تأليفه كتاباً آخر عنوانه **في اختلاف المناظر**. وقد فُقد هذا الكتاب ولم تبق إلا ترجمته اللاتينية وهي بعنوان (*Liber de causis diversitatum aspectus*) وهو باسم (*De Aspectibus*). يبحث الكندي في هذا الكتاب الانتشار المستقيم لأشعة الضوء، وذلك عن طريق اعتبارات هندسية تتعلق بالظلال وبمرور الأشعة عبر الثقوب. ودرس بعد هذا المبادئ الرئيسية للرؤية وعدّل نظرية الشعاع البصري الموروثة من القدماء، وأنهى كتابه بدراسة الانعكاس على المرايا وقانون الانعكاس، وكان برهانه هندسياً وتجريبياً. القصد من وراء التذكير المقتضب والسريع بمضمون (*De Aspectibus*) هو بيان نمط البحث في المناظر قبل منتصف القرن التاسع الميلادي، وكذلك بيان المسافة التي تفصل هذا البحث عن علم المناظر الإقليدسي. وبعد أن أنهى الكندي كتابه (*De Aspectibus*) كتب شرحه النقدي لـ **المناظر** لإقليدس. ويفسر هذا التسلسل الزمني لنا معنى الشرح النقدي: يقوم الكندي بفحص قضايا إقليدس الواحدة بعد الأخرى في ضوء نتائج أبحاثه في (*De Aspectibus*)، ويصوّب ما بدا له غير صحيح، ويقترح براهين أخرى ويحاول أن يكشف، على قدر ما يستطيع، الأفكار الغامضة أو المستترة.

تُبين أعمال الكندي في **المناظر**، وكذلك في **المرايا المحرقة**، حالة مثالية من التلازم بين نقل الأصول اليونانية وبين تجديدها بالبحث، كما توضح أنه لا يمكن فصل ترجمة الإرث اليوناني عن البحث الجديد. وهنا نرى كيف نشأ الفكر المناظري في العربية.

أما الأصل الثاني المهم في علم المناظر فهو كتاب بطليموس. وليس لدينا، للأسف، ما يمكّننا من تحديد تاريخ ترجمته العربية التي فُقدت. والجدير ذكره هنا أن أوّل من ذكر هذه الترجمة هو العلاء بن سهل في النصف الثاني من القرن العاشر الميلادي في كتابه عن «الحرقات». ويبدو أن نقل هذا الكتاب - وهو أهم ما كتب باليونانية في علم المناظر - قد أُنجز في نهاية القرن التاسع أو بداية القرن العاشر الميلادي. وتُرجم هذا الكتاب لحاجة البحث في انكسار الضوء، وأيضاً في علم انكسار الضوء في العدسات، كما

تشهد على ذلك مؤلفات ابن سهل. فليس من قبيل الصدفة أن يكون الفصل الخاص بانكسار الضوء من كتاب بطليموس هو الذي استرعى انتباه ابن سهل. ومهما يكن من أمر، يبقى من المؤكد أن تطور علم المناظر بعد الكندي؛ أي مع ابن سهل وابن الهيثم بعده، قد أدّى إلى إهمال ما تُرجم من اليونانية. فلم يعد لهذه الترجمات إلا قيمتها التاريخية، وهذا ما يفسر ضياع نصوص بعضها وإهمالها. ورأينا مع علم المناظر الهندسي مثلاً من جدلية الترجمة والبحث كيف تترابط مراحل كل منهما، وكيف ارتبطت الترجمة بالبحث الجديد.

تُرجم إقليدس وديوقليس وأنثميوس (بالتزامن) مع أبحاث الكندي وقسطا بن لوقا وغيرهما. وقد حثّ تطور هذه الأبحاث والدراسات على تجديد الترجمة، ومن ثم على إعادة ترجمة أنثميوس وإقليدس. أما فيما يخص سفر بطليموس، فلقد انتظرت ترجمته البدء في دراسة انكسار الضوء ودراسة العدسات لأول مرة في التاريخ مع ابن سهل الذي اكتشف قانون سنيل - ديكارت في الانكسار، وذلك قبل أن يقوم الحسن بن الهيثم بثورته في المناظر والفيزياء. فتجديد الأصول اليونانية بالبحث الجديد والمبتكر هو الذي أدّى إلى نشأة الفكر المناظري في الإسلام.

لم يكن نمط العلاقة بين الترجمة والبحث، أو نمط تجديد الأصول ونشأة الفكر المناظري، هو النمط الوحيد؛ فقد تعددت الأنماط وتكاثرت، وسأذكر ثلاثة أنماط أخرى لا تتطابق مع النمط السابق. النمط الأول منها لا يتلازم فيه البحث مع النقل، بل يسبقه، وهنا أتت الترجمة من أجل إغناء بحث كان قد بدأ ونشط وازدهر بالعربية قبلها. تبدو الترجمة، هذه المرة، كأنها إعادة تنشيط أصل قديم، وكذلك تفسيره تفسيراً لم يخطر على بال صاحبه اليوناني. ويعطينا كتاب ديوفنطس الإسكندراني **في المسائل العددية** مثالاً نموذجياً عن هذا النمط. ولفهم هذا النمط أبدأ بالتذكير ببعض النقاط؛ ألّف ديوفنطس كتابه لبناء نظرية عددية عناصرها الأعداد الصحيحة والكسور على اعتبارها كسورَ مقادير، ويتكون هذا الكتاب من مئتين وتسعين مسألة يمكن ترجمتها بمعادلات محدودة؛ أي لها عدد محدود من الحلول، أو معادلات سيالة، أو غير محدودة؛ أي لها العديد من الحلول، ربما عدد لا يحصى من الحلول. على سبيل المثال: نريد أن نجد عددين مربعين يكون مجموعهما مربعاً، ويمكن ترجمة ذلك بالمعادلة $س^{٢} + ص^{٢} = ا^{٢}$ وهي معادلة سيالة. ولفهم ما جرى، علينا الرجوع إلى البحث الرياضي قبل ترجمة كتاب ديوفنطس.

ألف محمد بن موسى الخوارزمي بين عامي 813-833 كتابه في الجبر، الذي يعتبر بحق بداية لعلم جديد؛ أي الجبر - كعلم رياضي يختلف عن الحساب والهندسة، يدرس فيه نظرية المعادلات من الدرجتين الأولى والثانية، وخوارزميات حلها وبرهانها. وقد تابع خلفاء الخوارزمي البحث في الجبر؛ فأضاف أبو كامل شجاع بن أسلم فصلاً كاملاً في المعادلات السيالة أو في التحليل اللامحدود، وقد كتبه في القاهرة. وفي بغداد، قام قسطا بن لوقا بترجمة سبعة فصول من كتاب ديوفنطس. ومما يلفت النظر أن قسطا غيّر عنوان كتاب ديوفنطس من **المسائل العددية** إلى **صناعة الجبر**، رغم أن كلمة الجبر لا تنتمي بحالٍ إلى قاموس الرياضيات اليونانية، وأخذ في ترجمته بعبارات الخوارزمي؛ أي إنه قرأ كتاب ديوفنطس بعيون الخوارزمي، فغيّر عبارته ومفاهيمه، أو بعبارة أخرى أعطى أثناء الترجمة تفسيراً جبرياً لكتاب في نظرية الأعداد.

كان هذا هو الحال في العقدين الأخيرين من القرن التاسع: فمن جهة أسّس الخوارزمي علماً جديداً؛ أي الجبر، في بدايات القرن، وأضاف إليه أبو كامل فصلاً جديداً في «التحليل اللامحدود»؛ ومن جهة أخرى ترجم قسطا بن لوقا كتاباً يعالج مسائل إذا ما قُرئت في ضوء هذا العلم الجديد أو تُرجمت بتعابيره تصبح تابعة له. لقد أدرك قسطا بن لوقا، من دون شك، فائدة كتاب ديوفنطس للبحث في هذا العلم الجديد وفي تطوير أحد فصوله؛ أي الفصل الخاص بالتحليل اللامحدود. ولهذا قرأ كتاب ديوفنطس قراءة جبرية مخالفة لتصور ديوفنطس. وكان لهذه الترجمة والقراءة الجبرية أثرٌ كبير في تطور فصل «التحليل اللامحدود» الذي قام بتأسيسه الرياضيون في القرون التالية، وقد أُطلق على هذا الفصل من الرياضيات اسم خاص: «في الاستقراء».

شرح أبو بكر الكرجي عدة فصول من كتاب ديوفنطس، وجدّد البحث عند شرحه هذا، وذلك بفضل معرفته بكتاب أبي كامل، فطوّر ما يسمى بـ «التحليل اللامحدود المنطق» وتبعه بعد ذلك الكثير: السمؤل والزنجاني وغيرهما، وأصبح هذا الفصل فصلاً من كتب الجبر. وجدد الخجندي والخازن البحث في هذا الحقل، وذلك بتصور فصل جديد وهو «التحليل اللامحدود الصحيح» نسبة إلى الأعداد الصحيحة، وأصبح فصلاً أساسياً في نظرية الأعداد. وتبعهما في هذا السجزي أبو الجود بن الليث وآخرون من بينهم فيبوناتشي (Fibonacci) في بداية القرن الثالث عشر الميلادي. ولم يكن نقل كتاب ديوفنطس إلى العربية من باب تجديد البحث، بقدر ما كان من باب التوسع في فصوله وتقنياته ومناهجه.

قمنا بفحص نوعين من نقل الأصول: النقل المرافق للبحث وفي حقل البحث ذاته، والنقل الذي لحق بالبحث وعلى فترة من الزمن، وانتهى إلى دمج المنقول في تقليد علمي مختلف عن تقليده الأول. أما عن الترجمة نفسها، فقد تطورت مع البحث من ترجمة الأديب الطبيب إلى ترجمة المترجم العالم مثل قسطا بن لوقا وحنين بن إسحاق، وساد الأسلوب الأخير أكثر فأكثر مع تقدم القرن. إلا أن هذين النوعين وهذه الأساليب لم تكن الوحيدة؛ فهناك النقل الذي لم تكن دوافعُه نشاطاً بحثياً واحداً، ولكن مجموعة من الأعمال البحثية التي سبق أن تشكلت. وسنجد نموذجاً مثالياً لهذه المسيرة في الميادين المتخصصة الصعبة، وهنا لن يقوم بالنقل والمراجعة المترجمُ العالم، ولكن العالم المترجم مثل ثابت بن قرة. ولنأخذ مثالاً لذلك كتاب **المخروطات** لأبلونيوس الإسكندراني.

من المعروف أن دراسة القطوع المخروطية تمثّل الجزء الأكثر تقدماً في الهندسة اليونانية. ويضم كتاب أبلونيوس هذا مجموع المعارف التي أنتجها علماء الهندسة حول المنحنيات المخروطية، منذ إقليدس وأريستى القديم وقونون الإسكندراني وغيرهم، والتي أغناها أبلونيوس بإسهامه العظيم. وقد ظل هذا الكتاب المرجع الأكمل في دراسة المنحنيات المخروطية حتى القرن الثامن عشر على الأقل.

عالج علماء النصف الثاني من القرن التاسع مسائل تقتضي اللجوء إلى القطوع المخروطية؛ فقد واجهتهم مسائل طرحها علم الفلك، وعلم المناظر، وكذلك تحديد مساحات وحجوم السطوح والمجسمات المنحنية ... إلخ. ولمعرفة هذا يكفي أن نقرأ لائحة أعمال الكندي والمرْوروذي والفرغاني وبني موسى: فقد لجأ الفرغاني مثلاً إلى القطوع المخروطية لدراسة نظرية الإسقاطات المخروطية اللازمة لنظرية الأسطرلاب. وظهر في ذلك العصر مع بني موسى اتجاه جديد في البحث الهندسي؛ فقد بدأ الاهتمام، في آن واحد، بهندسة المخروطات وبقياس المساحات والحجوم المنحنية. وبرع الحسن بن موسى، وهو أصغر الإخوة الثلاثة، في هذا الحقل، متصوراً نظريةً في القطع الناقص من دون معرفةٍ بنظرية أبلونيوس ومختلفة تماماً عنها، وقد درس القطع الناقص باعتباره قطع أسطوانة وليس قطع مخروط. وهنا بدأ البحث عن كتاب أبلونيوس.

فأسباب الاهتمام الذي حظي به كتاب أبلونيوس واضحة، وهي مواصلة بحث بدأ في هندسة المخروطات والحاجة إلى المنحنيات المخروطية لدراسة حقول رياضية أخرى، لذا شرع بنو موسى في البحث عن نسخة من هذا الكتاب يمكن ترجمتها إلى العربية.

بعد وفاة الحسن بن موسى، ترجم فريقٌ الكتاب، وفيه هلال بن أبي

هلال الحمصي، إلا أن المترجم لأكثر فصوله صعوبة والمُراجع لترجمة الكتاب كله هو ثابت بن قرة. وهذه الترجمة ليست مرتبطة بالبحث فحسب، ولكن هي أيضاً وسيلة لاكتشاف الجديد ولإعادة تنظيم المعرفة الهندسية. ولهذا لا يستطيع أن يقوم بها إلا علماء من الطبقة العليا. ولإيضاح هذه الوظيفة الجديدة، نعود إلى ثابت بن قرة وإلى كتاب ألّفه بعنوان **في قطوع الأسطوانة وبسيطها**، حيث يسترجع فيه بصورةٍ ما كتاب أستاذه الحسن بن موسى السابق الذكر وبحوزته **المخروطات** لأبلونيوس الذي ترجمه.

وجد ثابت في كتاب أبلونيوس نموذجاً لصياغة نظرية جديدة في الأسطوانة وفي قطوعها المستوية. وهيّأ له كتاب أستاذه الحسن بن موسى في الوقت نفسه وسائلَ رياضيةً سيقوم بتطويرها؛ وهي الإسقاطات والتحويلات الهندسية، مما سيكون له جلّ الأثر في تاريخ الهندسة. واعتبر ثابت - وذلك لأول مرة - المساحة الأسطوانية كمساحة مخروطية، والأسطوانة كمخروط أبعد رأسه إلى اللانهاية في جهة معلومة. وبعد هذا، استلهم ثابت كتاب أبلونيوس لبناء النظرية الجديدة. وهكذا، كانت الدعوة إلى ترجمة **المخروطات** لأبلونيوس من متطلبات البحث الذي قام به الحسن بن موسى وتلميذه ثابت بن قرة. هذا من جهة، ومن جهة أخرى أدّت الترجمة إلى تجديد البحث وتوسيع مجاله.

قد يظن البعض أن هذا المثل هو حالة خاصة نظراً إلى المستوى الهندسي الرفيع لثابت بن قرة. ولا شك في أن لهذا المستوى أهميته، إلا أن بيت القصيد ليس هنا. فثابت بن قرة نقل إلى العربية كتاب نيقوماخس الجرشي **مقدمة علم العدد**، الذي لخّصه ابن سينا في **الشفاء**، وراجع ثابت ترجمة **الأصول** لإقليدس. وانطلاقاً من دراسة إقليدس للأعداد التامة ومن دراسة نيقوماخس للأعداد المتحابة، فتح ثابت باباً جديداً وهو دراسة قواسم الأعداد والبرهان على نظريته المشهورة في الأعداد المتحابة.

مرة أخرى، نرى العلاقة الحميمة بين النقل والبحث، وأنه لا يمكن بحالٍ فهم نقل الأصول اليونانية من دون تجديدها بالبحث الدؤوب. ولم يتقدم هذا النشاط في نقل الأصول اليونانية اتساعاً فحسب، وإنما تقدّم إدراكاً وفهماً منذ البداية بفضل البحث. لذلك، لم تتوقف معايير الجودة في الترجمة عن التطور؛ وذلك يفسر إعادة ترجمة الأصول المترجمة والحرص على مراجعة الترجمات. فالإعادة والمراجعة أصبحتا علامتين مميزتين لحركة ترجمة الإرث اليوناني إلى العربية. ويمكن القول إن مراجعة الترجمة انتهت إلى أن تصبح قاعدة، وذلك منذ أن راجع الكندي بعض ترجمات قسطا بن لوقا، وراجع ثابت بن قرة ترجمات إسحاق، بل حنين وهلال بن أبي هلال الحمصي ... إلخ.

رأينا أن جدلية النقل والبحث وطابعها التقني، أو ما سميته بتجديد الأصول، هي أحد أسس نشأة الفكر العلمي في ميدان المناظر والرياضيات، بل والعلوم الرياضية عامة. وهذا ما نجده أيضاً في علم الهيئة، وخاصة عندما نُقل كتاب بطليموس **المجسطي** إلى العربية.

وسأبدأ بعبارة من عالم القرن الثاني عشر المتبحر ابن الصلاح، حيث يقول: «وكان قد حصل من كتاب المجسطي خمس نسخ مختلفة اللغات والتراجم، منها نسخة سريانية قد نُقلت من اليونانية، ونسخة ثانية بنقل الحسن بن قريش للمأمون من اليونانية إلى العربية، ونسخة ثالثة بنقل الحجاج بن يوسف بن مطر وهليا بن سرجون للمأمون أيضاً من اليونانية إلى العربية، ونسخة رابعة بنقل إسحاق بن حنين لأبي صقر بن بلبل من اليونانية إلى العربية، وهي دستور إسحاق وبخطّه، ونسخة خامسة بإصلاح ثابت بن قرة لنقل إسحاق بن حنين». يبين لنا ابن الصلاح أنه خلال نصف قرن من الزمان كان قد تمّت ثلاث ترجمات على الأقل لكتاب **المجسطي**، إضافة إلى مراجعة قام بها أحد أئمة الرياضيات في هذا العصر. ولم يُنقل **المجسطي** وحده في القرن التاسع الميلادي، بل تُرجم إلى العربية كل ما كُتب في اليونانية في علم الهيئة عدا بعض الاستثناءات. ويبيّن ابن الصلاح أيضاً أنه خلال عقدين - وهي فترة خلافة المأمون - تُرجم كتاب **المجسطي** مرتين.

كيف يمكن تفسير مثل هذه الوقائع؟ علينا أن نرجع إلى أحد علماء العصر لفهم ما جرى من دون أن نضلّ الطريق، وهو عالم الهيئة اللامع حبش الحاسب، الذي يصف حالة البحث في علم الهيئة قبل خلافة المأمون بقوله: «إن علماء الهيئة كانوا قد وضعوا لذلك أصولاً وادّعوا في معرفة الشمس والقمر والنجوم علماً عظيماً ولم يأتوا ببرهان واضح ولا قياس صحيح». ويواصل روايته فيذكر أن الوضع بقي على حاله حتى خلافة المأمون، ومعها بدأ التحقق من صحة الجداول الفلكية - الأزياج - التي سبق أن نُقلت إلى العربية. فقد نُقل إلى العربية قبل خلافة المأمون، يعني قبل سنة 813م **زيج السندهند**، و**زيج الأركند** لبرهما جوبتا، و**زيج الشاه** عن الفارسية القديمة، والقانون اليوناني، ما يعرف بـ «الأزياج الميسّرة» وأزياج أخرى. وجرت مقارنة هذه الأزياج بعضها ببعض وأفضت كما يقول حبش إلى أن «كل واحد منها يوافق الصواب أحياناً ويبتعد عن منهج الحق أحياناً»، ومن ثم لا يمكن أن يثق به.

من قام بالمقارنة؛ أي بهذا البحث في علم الهيئة؟ لا يجيب حبش عن هذا السؤال. ولكننا نعرف أن بعض هذا العمل قد بدأ قبل عهد المأمون مع الفزاري ويعقوب بن طارق، وأن محمد بن موسى الخوارزمي قد ألّف زيجاً معروفاً باسمه، ونعرف أيضاً أن الفرغاني وحبش نفسه وغيرهما كانا من هذا الجيل الذي أعاد إلى البحث في علم الهيئة نشاطه بعد عدة قرون خمل فيها.

بعد أن تمت مقارنة الأزياج، وفي إثر النتيجة السلبية التي أدّت إليها المقارنة، يقول حبش: «أمر (المأمون) يحيى بن أبي منصور الحاسب بالرجوع إلى أصل كتب النجوم، وجمع علماء أهل هذه الصناعة وحكماء أهل زمانه ليتعاونوا على البحث على أصول هذا العلم، والقصد لتصحيحه، إذ كان بطليموس القلوذي قد أقام الدليل على أن دَرْكَ ما يحاول علمه من صناعة النجوم غير ممتنع». وقد نفّذ يحيى بن أبي منصور ما أمر به المأمون، فاختار هو وأصحابه **المجسطي** كتاباً أساسياً أو مرجعياً. والأرجح أن تكون ترجمة الحجاج بن يوسف لهذا الكتاب بأمر المأمون أيضاً.

وأمر المأمون كذلك ببناء مرصدين، أحدهما في بغداد والآخر في دمشق. رصد يحيى بن أبي منصور وأصحابه في بغداد حركة الشمس والقمر في أوقات مختلفة. وكلّف المأمون بعد وفاة يحيى بن أبي منصور عالماً آخر هو خالد بن عبد الملك المروروذي في دمشق بعمل أول رصد متواصل عرف في تاريخ علم الهيئة، وهو رصد لحركة الشمس والقمر على مدار سنة كاملة.

لقد تُرجم إذاً كتاب **المجسطي** مرتين، وجرى إصلاح هذه الترجمة وإتقانها لتلبية حاجات البحث النشط في علم الهيئة؛ وهذا ما يفسّر تعدد الترجمات كما يفسّر ترجمة الأصول الأخرى المرتبطة بالبحث في علم الهيئة مثل كتاب **الأنالما** لديودور وكتاب منالاوس في الهندسة الكروية وغيرهما. هكذا كانت نشأة الفكر الفلكي في الإسلام قبل أن يتطور علم الهيئة والعلوم المرتبطة به تطوراً هائلاً، ولكن هذا أمر آخر.

هذه بعض الأمثلة من علوم مختلفة - المناظر، والجبر، ونظرية الأعداد، وهندسة المخروطات، وعلم الهيئة - تدل كلها بما لا يقبل الشك على أن نقل الأصول كان منذ اللحظة الأولى من أجل البحث العلمي، وكان أيضاً منذ هذه اللحظة تجديداً لها. وهكذا كانت نشأة الفكر العلمي في الإسلام، وكان لهذا الفكر جُلّ الأثر في تجديد الفلسفة النظرية في الإسلام، وسأدل على هذا - لضيق المساحة - بمثل واحد وهو للكندي.

ينظر مؤرخو الفلسفة إلى الكندي نظرتين مختلفتين؛ فالبعض يرى أنه ممثل إسلامي للتقليد الأرسطي داخل الأفلاطونية المحدثة، إذ إن أصول فلسفته هي الفلسفة القديمة في فترتها المتأخرة. في حين يرى آخرون أن أصوله هي كتب المتكلمين، ومن ثم يرونه كأنه متكلم، استبدل قاموس علم

الكلام بقاموس الفلسفة اليونانية. ولكن فلسفة الكندي تظهر جلياً لنا عندما نرى كيف جدّد الأصول، وكيف لجأ إلى الرياضيات للقيام بهذا التجديد.

إن أصول فلسفة الكندي إسلامية بالمعنى الذي نجده عند المتكلمين - المعتزلة - وخاصة في مبحث التوحيد. فالكندي يرى أن الوحي يطلعنا على الحق، الذي لا ازدواج فيه؛ فهو واحد وعقلي، هذه واحدة. أما الأخرى، فهي أن كتاب **الأصول** لإقليدس هو نموذج ومنهج للوصول إلى الحق. فإذا كان من الممكن الوصول إلى الحق عن طريق الوحي؛ أي بصورة موجزة ومختصرة تكاد تكون فورية، فإنه من الممكن أيضاً بلوغه بمجهود تراكمي وجماعي، وهو طريق الفلاسفة انطلاقاً من حقائق عقلية مستقلة عن الوحي وخاضعة لمعايير البرهان الهندسي كما هو مطبّق في كتاب **الأصول** لإقليدس. كانت هذه الحقائق العقلية التي تؤدي دور المسلّمات الأولية في زمن الكندي هي التي نُقلت عند ترجمة أصول التقليد الأرسطي داخل الأفلاطونية المحدثة، وهي التي اعتمدها الكندي بديلاً من الحقائق الموحى بها، إذ في وسعها الوفاء بشروط البرهان الهندسي، وفي وسعها أيضاً أن تمكّن من بناء عرض منظم شبيه بالعرض الافتراضي القياسي الذي نتعلمه من كتاب إقليدس، مما يؤدي إلى أن يكون «الفحص الرياضي» كما يقول الكندي، أداةً لعلم ما بعد الطبيعة. هكذا كان الأمر بالنسبة إلى رسائل الكندي في الفلسفة النظرية، كرسالته «في الفلسفة الأولى» ورسالته «في وحدانية اللّه وتناهي جرم العالم» وغيرهما.

ولنأخذ مثالاً من رسالته الأخيرة. يسلك الكندي نهجاً مستتباً ليقيم البرهان على التهافت المنطقي لمفهوم الجسم اللامتناهي، فيبدأ بتعريف الحدود الأولية: المقدار والمقادير المتجانسة. ويقدّم بعد ذلك ما يسميه بـ «القضايا الحق» أو ما يسميه في رسالته «في الفلسفة الأولى» «المقدمات الأولى الحقيقية المعقولة بلا توسط» أو «المقدمات الأولى الواضحة الحقيقية المعقولة بلا توسط» في رسالته «في وحدانية اللّه وتناهي جرم العالم».

ويقصد الكندي بهذه القضايا البديهيات كما في الهندسة، فتكون هذه القضايا مثل «الأعظام المتجانسة التي ليس بعضها بأعظم من بعض متساوية» أو «إذا زيد على أحد الأعظام المتجانسة المتساوية عظم مجانس لها، صارت غير متساوية». أخيراً، يعمد الكندي إلى برهان الخلف كما في الهندسة مستخدماً هذه الفرضية: «إن الجزء من المقدار اللامتناهي هو ضرورة متناه».

يسلك الكندي هذا النهج نفسه في العديد من رسائله؛ فعلى غرار رسالته «في الفلسفة الأولى» نراه يأخذ بأسلوب البرهان الهندسي في رسالته «مائية ما لا يمكن أن يكون لا نهاية له وما الذي يقال له لا نهاية له» حيث يعتزم إقامة البرهان على استحالة أن يكون العالم والزمان غير متناهيين. وهنا أيضاً يبدأ البرهان بالقضايا الواضحة الحقيقية مثل «إن كل شيء ينقص منه شيء، فإن الذي يبقى أقل مما كان قبل أن ينقص منه» ومثل «كل شيء نقص منه شيء، فإنه إذ ما ردّ إليه ما كان نقص منه، عاد إلى المبلغ الذي كان أولاً ... إلخ.

يعتزم الكندي إذاً البرهان على أطروحته الفلسفية انطلاقاً من هذه القضايا المستلهمة من كتاب **الأصول** لإقليدس مستخدماً برهان الخلف، ليثبت أنه لا يمكن أن يكون جسمٌ لامتناهياً، ولا زمان لامتناهياً خلافاً لنظرية أرسطو في الزمان؛ فلا يوجد زمان أزلي وأن الجسم والحركة غير أزليين.

وهكذا، فإن كانت كتب أرسطو هي الأصول، فالكندي منذ البداية يبدأ بتجديد الفلسفة نفسها بالرياضيات. فالعلاقة بين الفلسفة والرياضيات جوهرية وضرورية لبناء المنظومة الفلسفية. وقد صرّح الكندي بذلك؛ إذ جعل من هذا الموقف عنواناً لأحد كتبه، وهو «في أنه لا تنال الفلسفة إلا بعلم الرياضيات». ويذهب في رسالته «في كمية كتب أرسطوطاليس» إلى مخاطبة طالب الفلسفة لينبّهه أنه أمام خيارين: إما أن يبدأ بالرياضيات قبل التطرق إلى كتب أرسطو فيأمل عندئذٍ في أن يصير فيلسوفاً، وإما أن يقتصد تلك المرحلة فلا يسعه أن يصير إلا «راوياً» للفلسفة إن كانت له قدرة على الحفظ، فيقول: «هذه أعداد ما قدمنا ذكره من كتبه (أرسطوطاليس) التي يحتاج الفيلسوف التام إلى اقتناء علمها بعد علم الرياضيات، أعني التي حددتها بأسمائها. فإنه إن عدم أحد علم الرياضيات التي هي علم العدد والهندسة والتنجيم والتأليف، ثم استعمل هذه دهره، لم يستتم معرفة شيء من هذه ولم يكن سعيه فيما مكسبه شيئاً إلا الرواية إن كان حافظاً، فأما علمها على كنهها وتحصيله فليس بموجود إن عُدم الرياضيات البتة».

باختصار، لا يقتصر الكندي على تجديد الأصول؛ أي هذا الأصل أو ذلك من كتب أرسطو أم من كتب يحيى النحوي، أو الإسكندر الأفروديسي، بل يريد الذهاب إلى ما هو أبعد من ذلك وهو تصور برنامج فلسفي جديد يقوم على معرفة بالرياضيات. وهذا البرنامج الجديد يؤدي إلى خطاب فلسفي موجّه إلى الجميع، وليس إلى المسلمين فحسب كما هو الحال عند المتكلمين، ولكنه لا يتناقض مع رسالة الوحي. وتبع الكندي في هذا ابن ميمون. وأخذ فلاسفة الإسلام طرقاً أخرى، تدخلت فيها الرياضيات بصور مختلفة. ولكن هذا أمر يطول.

وأود أن أنهي هذا المقال بثلاث ملاحظات: الملاحظة الأولى هي أن من يريد أن يفهم حق الفهم نشأة العلوم والفلسفة في الإسلام عليه ألّا يفصل بين نقل الأصول وتجديدها؛ فلا يمكن القول - كما يردد البعض - أن هناك ثلاث مراحل: الترجمة ثم التمثل ثم الإبداع. فالإبداع بدأ قبل الترجمة ومعها وأثناءها وبعدها. والملاحظة الثانية هي أنه لا يمكن فهم نقل الأصول العلمية من رياضية وغيرها وكذلك الأصول الفلسفية من دون الأخذ في الاعتبار ما تم في العلوم الإنسانية، من كلام وفقه وتفسير وتاريخ ... إلخ. والملاحظة الثالثة هي أنه لا يمكن الأخذ بما يقوله الكثير من المؤرخين، وعلى سبيل المثال أحد أئمة مدرسة الحوليات الفرنسية (Les Annales)؛ أعني فرنان بروديل (Fernand Braudel)، فهو يقول: «ينقسم البحر الأبيض المتوسط بحدود ثقافية، حدود أساسية وحدود فرعية، حدود هي جروح لا تلتئم وتلعب دورها».

أين هي هذه الحدود بين أثينا والإسكندرية، بين الإسكندرية وبغداد، بين بغداد وبيزنطة، بين القاهرة والبندقية ... إلخ. وإن كان لا يمكن قبول هذا، فبالأحرى لا يمكن قبول هذا اللغو الذي نسمعه من أفواه عدة، ولأهداف خفية عن الصراع أو الحوار بين الحضارات. فهم يعنون بهذا الحوار أو الصراع أساساً الإسلام والغرب. وأقول من دون تردد إن الثقافات لا تتحاور ولا تتصارع، ولكن يؤثر بعضها في بعض وتتواصل وتتفاعل. فعلماء الإسلام هم الذين تواصلوا مع الثقافة اليونانية؛ مع علمها وفلسفتها، تواصلَ وتفاعلَ القوي القادر لا تواصلَ وتفاعلَ الضعيف الواهن؛ وذلك بتجديد أصولها وتطويرها في ميادين لم تخطر على عقول أصحابها الأوائل. أما الضعيف الواهن فلا يمكنه إلا أن يستعير ويقلد. والأمثلة أمامنا للأسف كثيرة.

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.7
المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 23

ورقة بحثية

قراءة وتعقيب على مقال «استسقاء العين» - ورقة بحثية نشرت عام 1925

أحمد عبد الوارث محمد[1]، عبد الرحمن الحسيني[2*]

[1] قسم طب وجراحة العيون، جامعة القاهرة، القاهرة، مصر
[2] كلية هارفارد للطب، قسم طب وجراحة العيون، مستشفى بوسطن للأطفال، بوسطن، ماساتشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية

في هذه الورقة، نستعرض ملخصاً لمقال قدّمه الدكتور عبد الرحمن المقيد في اجتماع الجمعية الطبية البغدادية المنعقدة في 8 أبريل 1925 عن مرض استسقاء العين أو «الغلوقوم» (الجلوكوما أو المياه الزرقاء)، وسيكون التركيز على النقاط التي تتفق مع العلم الحديث وآخر النظريات والتطورات العلمية في مجال طب العين وجراحتها. وسيعقب هذا الملخص بعض الإضافات عن هذا المرض.

- استسقاء العين: مرض يختل فيه دوران داخل العين، ويوجب احتباس المايعات مع تزايد التوتر في باطنها.
- نسبة حدوث المرض في الوقت الحالي في الشرق الأوسط نحو 3.07%، وفي أوروبا 2.23% وهي نسبة قريبة مما ذكرها الدكتور عبد الرحمن المقيد في مقاله وهي 4%.
- لفهم كيفية حدوث استسقاء العين (أو ارتفاع ضغط العين)، يشرح الكاتب آلية دوران الخلط المائي داخل العين؛ حيث يقوم الجسم الهدبي (عن طريق الزوائد الهدبية) بإنتاج الخلط المائي الذي بدوره يتحرك في الحوض الخلفي للعين ومنه إلى الحوض القدامي (عن طريق حدقة العين)؛ حيث يجري صرفه عن طريق الزاوية القزحية البالغة الأهمية في حدوث استسقاء العين. وتعدّ زيادة مقاومة الزاوية القزحية لصرف الخلط المائي السببَ الأهم لارتفاع ضغط العين وحدوث المياه الزرقاء. ويكون الحوض القدامي أكثر عمقاً في حالات قصر النظر وفي سن الشباب، وأقل عمقاً في مديدي البصر وفي الشيخوخة. ويحدّ الحوض الخلفي من الخلف الوجه الأمامي للجسم البلوري، ويحده من الأمام الوجه الخلفي للقزحية. في حين يحدّ الحوض القدامي من الخلف الوجه الأمامي للقزحية، ويحده من الأمام الوجه الخلفي للقرنية.
- في الوضع الطبيعي، يكون هناك توازن بين إنتاج الخلط المائي وصرفه. وفي حالة حدوث خلل في هذا التوازن، بحيث تحتبس المايعات داخل العين مع زيادة التوتر، فإنه يحدث استسقاء العين.
- أنواع المياه الزرقاء:
  1. النوع الأصلي: ويحدث بدون مرض سابق في العين وينقسم إلى:
     - الشكل الالتهابي: وهو ما يطلق عليه حالياً المياه الزرقاء ذات الزاوية المنغلقة.
     - الشكل اللالتهابي: وهو ما يطلق عليه حالياً المياه الزرقاء ذات الزاوية المفتوحة.
  2. النوع الثانوي: وينتج من مرض سابق بالعين مثل الالتهاب القزحي وإصابات العين.
  3. الزرق الخلقي: وهو نوع من أنواع المياه الزرقاء يحدث في الولدان الرضع والأطفال.

  واقتصر الكاتب على الحديث عن المياه الزرقاء ذات الزاوية المفتوحة؛ حيث إنه النوع الأكثر انتشاراً.
- تشخيص المرض:
  - الأعراض: ضيق في سعة أو مجال الرؤية، ولكن تبقى حدة الإبصار بلا تأثر فترة طويلة، وتتناقص في المراحل المتأخرة من المرض.
  - ارتفاع ضغط العين.
  - تقعر حليمة العصب البصري.
  - تغيرات في الهالة الحليمية.

Received 17 March 2022; accepted 19 August 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Mohammed AA, Elhusseiny AM. Renewing the resources: 1925 قراءة وتعقيب على مقال «استسقاء العين» - ورقة بحثية نشرت عام. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.7. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.7

- التشخيص التفريقي: ينبغي التفريق بين تقعر حليمة العصب البصري الناتج من ارتفاع ضغط العين وبين الأسباب الأخرى التي تؤدي إلى تقعر الحليمة وأهمها التقعر الفيزيولوجي. كما ينبغي أيضاً التفريق بين المياه الزرقاء والساد (المياه البيضاء)، وهو أمر بسيط جداً في الوقت الحالي نظراً إلى تطور أجهزة الفحص.

ما سبق كان ملخصاً لأهم نقاط المقال، ويتضح جلياً أن الكثير من الأمور متفقة مع العلم الحديث. ويظهر أيضاً كيف أن اللغة العربية قادرة على شرح العلوم الطبية بكل سهولة ووضوح، وليس كما يتصور البعض أنها ليست للكتابة العلمية.

ونستعرض في الجزء الأخير من هذا الاستكتاب بعض ما توصّل إليه العلم الحديث في هذا الشأن.

أولاً: تشخيص المرض

- قياس ضغط العين: وهو حجر الزاوية في هذا المرض، ويوجد حالياً عشرات الأجهزة لقياس ضغط العين بدقة، أهمها مقياس غولدمان لقياس توتر العين بالتسطيح.
- دراسة زاوية العين باستخدام عدسة التنظير.
- فحص مجال الإبصار بالأجهزة، مثل جهاز همفري لتحليل مجال الإبصار.

وكما ذكرنا في ملخص المقال، فإن ضيق سعة الرؤية هو أهم أعراض مرض المياه الزرقاء.

- التصوير المقطعي للعصب البصري: وهو حالياً من أهم الأجهزة، ولا سيما في التشخيص المبكر للمرض قبل ظهور الأعراض بوضوح. وهذا الجهاز يمدّنا بالعديد من المعلومات الخاصة بالعصب البصري، أهمها: سمك العصب في الهالة الحليمية، ودرجة تقعر العصب، ومساحة الحليمة.
- التصوير الضوئي للعصب البصري.

ثانياً: علاج المرض:

شهدت العقود الأخيرة تطورات كبيرة في علاج المياه الزرقاء؛ فأصبح أمامنا العديد من الخطوط العلاجية، ويجري اختيار العلاج المناسب للمريض بناءً على عدة محددات من أهمها:

- درجة المرض.
- عمر المريض.
- نوع المياه الزرقاء.
- القدرة المالية للمريض.
- درجة التزام المريض بالعلاج.
- استجابة العين للعلاج المستخدم.

وتشمل هذه العلاجات:

- العلاج بالقطرات: تعمل على خفض ضغط العين عن طريق تقليل إنتاج الخلط المائي، أو زيادة صرفه، أو عن طريق الحماية العصبية.
- الليزر: توجد عدة أنواع من الليزر في المتناول لخفض ضغط العين. وبصفة عامة، فهي تعمل على تقليل إنتاج الخلط المائي من الجسم الهدبي، أو عن طريق زيادة قدرة الزاوية القزحية على صرف الخلط المائي.
- العمليات الجراحية: مثل شق اللجام الغربالي، وعمليات زرع الصمام، وحالياً يمكن زرع كبسولات دوائية في الخزانة الأمامية (الحوض القدامي للعين).

استسقاء العين

مقال الدكتور عبد الرحمن المُقيِّد الذي ألقاه في اجتماع الجمعيّة الطبيّة البغداديّة المنعقد في 8 نيسان 1925.

حضرات سادتي الزملاء الأفاضل:

لو جاز لنا أن نعتبر العين بدنًا إنسانيًّا مستقلًّا له أحشاء وجملة عصبيّة وجملة دورانيّة وغير ذلك بمثابة أقسام باطنيّة، ولها أيضًا جملة عضليّة لأجل تحريكها، ولحافات جلديّة وأغشية مصليّة لسترِها والمحافظة عليها، وغدد عرقيّة (الدمع)، ودهنيّة لترطيبها وتأمين رونقها وجلائها، وذلك بمثابة أقسام خارجيّة. لو جاز لنا ذلك، لَحقّ لنا عندئذ أن نقسم أمراض العين إلى قسمين: القسم الأول: الأمراض الباطنيّة، والثاني: الأمراض الخارجيّة.

أمّا أمراض العين الباطنيّة، فقد كان عدد المصابين بها الذين لجؤوا إلى المستشفى خلال سنة واحدة (611) من ضمن (6400)، وهو مجموع أمراض العين السنوي. ومن كميّة أمراض العين الباطنيّة سُجِّلَت (220) إصابة في الأمراض الدّورانيّة (الغلوقوم)، أي أكثر من ثلثها. وكذلك بنسبة نحو 4٪ من مجموع أمراض العين السنوي عائدة للغلوقوم. بينما نرى أنّ الكتب الطبيّة تدون نسبة 1٪، ما يعني أنّ نسبة أمراض الغلوقوم الفتّاكة في بلادنا تزيد ثلاثة أضعاف على ما هي في البلاد الأوربيّة. بينما نجد أنّ بقيّة الأمراض الباطنيّة (كأمراض العصب البصري، والشبكيّة والمشيميّة والهُدْبيّة والقُزَحِيّة) قليلة جدًّا بخلاف البلاد الأوروبيّة، كما سيتضح لحضراتكم من مطالعة قائمة الإحصاء السنوي للأمراض العينيّة عام 1924. غير أنّ كميّة أمراض الجسم البلّوري تزيد على نصف كميّة الأمراض الباطنيّة. ولكنْ لا يخفى على حضراتكم أنّ معظم تغيّرات الجسم البلّوري ليست مَرَضِيّة بل تُعَدّ فيزيولوجيّة. وممّا تقدّم نرى أنّ الغلوقوم أي الأمراض التي تتولد في الجملة الدّورانيّة للعين تستوجب البحث والاهتمام أكثر من غيرها نظرًا لتفشّيها وكثرتها وعواقبها الوخيمة. ولذلك أستسمحكم أن أعرض نبذة من الإيضاحات المهمة عنها.

إنّ العلماء والحكماء الأوّلين في أوروبة أطلقوا اسم الغلوقوم(Glaucoma) بالنظر إلى اللونين الأخضر والأزرق الذي يشاهد في الحدقة في أدوار المرض القديمة والمترقّية. والأطباء الترك ترجموا المعنى الأصلي لكلمة الغلوقوم اللاتينيّة فسموها «داء الزرقة»، ولكن لا يخفى على حضراتكم أنّ ذلك اللون غير موجود في جميع أدوار المرض، ولا يشمل جميع أشكاله. وعدا هذا، فإنّ تلك التسمية لا تفيد في تصور شيء من أحوال المرض المُسمّى وتكوّنه. ولذا أرى أنّا لو أطلقنا كلمة (استسقاء العين)[1] على هذا المرض لكان المعنى أشمل ومطابقًا لحالة المُسمَّى نفسِها، كما سيظهر لحضراتكم من تلاوة ما بعده.

1 مرض الزَّرَق (الغلوكوما) ينشأ عن اضطراب التوازن ما بين عملية الإنتاج وآليات تصريف السوائل داخل العين، بمعنى فرط الإنتاج أو نقص التصريف ضمن جوف غير قابل للتمدد، ما يؤدي إلى تراكم السوائل داخل العين، وبالتالي ارتفاع الضغط داخل العين، وما يلي ذلك من تموُّتٍ مترَقٍّ وغيرِ عكوس لألياف العصب البصري. وبناء عليه يمكن اعتبار تسمية «استسقاء العين» دقيقة إلى حدّ كبير، وتستخدم التسمية نفسها لحالات مشابهة في الكلى أو الدماغ، فنجد مثلا استسقاء الكلية واستسقاء الدماغ للإشارة إلى تجمع أو تراكم السوائل ضمنها.

الغلوقوم أو استسقاء العين

مرض يختلّ فيه الدّوران داخل العين، ويوجب احتباس المايعات[2] مع تزايد التوتر في باطنها. ومن أجل ذلك وجب علينا أن ندقق في بادئ الأمر حالة الدّوران:

الدّوران

إنّ تَغَذِّي[3] المقلة (أو كرة العين) يحصل بواسطة نوعين من الدّوران: الأول هو الدّوران الدّموي، والثاني: الدّوران اللنفاوي[4].

- فالدّموي فيه ثلاثة أصناف من الأوعية:

1. الأوعية الشبكيّة: التي تتركب من شَرْيان العصب البصري ووَريدِه المركزي.
2. الأوعية الهُدْبيّة: التي تتألف من الشرايين الهُدْبيّة الخلفيّة القصيرة والطويلة، ومن الشرايين الهُدْبيّة القُدّاميّة. فمن هذه الشرايين تتكون شبكة شَعريّة للمشيميّة وللجسم الهُدبي، ومنها تتولد الدائرة الشَّريانيّة الكبيرة للقُزَحيّة التي تصدر منها شرايين القُزَحيّة المُؤَلِّفة للدائرة الشَّريانيّة الصغيرة[5] في حذاء المُعَصِّرَة[6] للحدقة. أمّا الأوعية الوَريديّة فيتكون قسم منها في محيط القرنيّة باسم أوردة هُدبيّة قُدّاميّة. والقسم الباقي يؤلف معظمه الأوردة الملتوية (Vorticose).
3. الأوعية المنضميّة (المُنضَمّة - البطانيّة): وهي مشتركة ومتناغمة مع الأوعية الهُدْبيّة القُدّاميّة.[7]

- **الدّوران اللنفاوي**

إنّه، بسبب علاقته بالغلوقوم، ذو شأن أكبر من الدّوران الدّموي. فأيّ قسم كان من كرة العين - خلا المنضمة - لا يحتوي على أوعية لنفاويّة أصليّة، بل يوجد فيه - عوضًا عن ذلك - مجارٍ وأحواض مخصوصة لجريان اللنف. وذلك لأنّه عَقيبَ حقنِها وُجِدَت مشتركة (متداخلة) بعضُها في بعض ومفروشة بالبشرة الداخلية (Endothelium) كما هو في الأوعية اللنفاويّة. وهي على قسمين: قسم خلفي وقسم قُدّامي.

المجاري اللنفاويّة الخلفيّة: على عدة أنواع:

1. المجاري اللنفاويّة الشبكيّة: الموجودة في جذع العصب البصري.
2. القناة الهلاميّة :(Hyaloidien) التي تمرّ في العين من الخلف للقُدّام من الحُلَيمة إلى المحفظة الخلفيّة للجسم البلّوري. وهي تبقى في الجسم الزجاجي بعد امتصاص شَرْيانه الهُلامي الجنيني. وتنقل اللنف من الجسم الزجاجي إلى الخلال (Espace) اللنفاويّة الموجودة في الأوعية المركزيّة للعصب البصري.
3. خلل[8] - فجوة فرضيّة- بين الشبكيّة والجسم الزجاجي التي تمتد قُدّامًا إلى قاعدة رباط الجسم البلّوري(Zonul) وخلفًا حتى جذع العصب البصري. وهذا الخلل (فجوة) تشترك مع خلال الجذع العصبي ومع القناة الهلاميّة.
4. فجوات (Espace) فوق المشيميّة، وهي الواقعة بين الصلبة والمشيميّة، ومشتركة مع فجوات الأوردة الملتوية الموجودة في المشيميّة، ومنها تتصل بفجوات تِنون (Tenon) وتتمادى مع الفجوات الموجودة فوق غمد العصب البصري.
5. فجوات واقعة بين كرة العين ومحفظة تِنون.

قسم المجاري اللنفاويّة القُدّاميّة: يتكون من حوضين جسميين: حوض خلفي[9]، وحوض قُدّامي.

الحوض الخلفي (Chambre Posterieure)[10]: وجوده فرضي وهمي، لأنّه عند توسع الحدقة لا يكون موجودًا. وهو محدود قُدّامًا بالوجه الخلفي للقزحيّة، وخلفًا بالوجه القُدّامي للجسم البلّوري، ومن الأعلى بالزوائد الهُدْبيّة. وشكله مثلثي ذروته للأسفل، وفي قاعدته تُشاهَد تموّجات ممتدة ومتداخلة شعاعيًّا بين أثلام الهُدْبيّة قُدّامًا وفي منطقة الزن للجسم البلّوري خلفًا، ومسماة بالشبكيّة الخلفيّة. وهذا الحوض يشترك واسعًا مع الحوض القُدّامي بواسطة الحدقة.

الحوض القُدّامي (Chambre Anterieuru): محدود قُدّامًا بالوجه الخلفي للقرنيّة، وخلفًا بالوجه القُدّامي للقُزَحيّة، وجنبًا بالرباط المِشطي وبالقسم القُدّامي للجسم الهُدبي. فالرباط المِشطي يتكون من غشاء ده سه مه (Descemet) الّذي يشكّل إحدى طبقات القرنيّة التي تتشعب في حدود القرنيّة إلى حُزَيمات تربط وتُوَحِّد الصلبة بجذر القُزَحيّة. ومن تقاطع وتصالب تلك الحزيمات يتكون بينها خلال مشترك مع نفس الحوض القُدّامي، ومفروش بالبَشَرة الداخليّة، وهي معروفة باسم فجوات خلال فونتانا (Espace de Fontana)[11]. وفي الجهة الوحشيّة للفجوات المذكورة (محلّ اجتماع الصلبة بالقرنيّة) توجد ضفيرة وريديّة تسمى قناة شله م (Schlemm's Canal)[12]. فناحية الحوض القُدّامي التي تتلاقى وتجتمع فيها حافة الصلبيّة - القرنيّة والقُزَحيّة والرباط المشطي، تسمى زاوية أو كهف (Sinus)[13]

---

2 السوائل أو الموائع.

3 أو: تغذية.

4 (حسب المعجم الطبي الموحَّد، المعتمَد من قبل اتحاد الأطباء العرب ومنظمة الصحة العالمية لترجمة المصطلحات الطبية (صدرت طبعته العربية الأولى عام 1973) تُستخدَم كلمة «لمفاوي» (Lymphatic) وليس «لنفاوي»، وكلمة «لمف» وليس «لنف».

5 الدائرة الشريانية الكبرى للقزحيّة، والدائرة الشريانية الصُّغرى للقزحية.

6 العَضَلَة المُعَصِّرَة: عضلة بترتيب خاص حلقي الشكل للألياف العضلية ضمنها.

7 الأمامية.

8 الخلل- الفجوة: بمعنى الفرجة والمُتّسَع بين شيئين. ومنه قوله تعالى:» فترى الودق يخرج من خلاله»، وقوله: « وهم في فجوة منه»

9 ستنشر المصطلحات الفنية مع مقابلاتها باللغات الأجنبية في آخر المجلة.

10 التسمية المستخدمة حاليا في كتب الطبّ العيني هي «الحجرة الخلفية أو البيت الخلفي».

11 فجوات خلال فونتانا: ترد في الأدبيات والنصوص الطبيّة فراغات فونتانا.

12 قناة شْليم (Schlemm's Canal)): هي عبارة عن وعاء دائري يشبه الأوعية اللمفاوية في العين، يجمع الخلط المائي من الغرفة الأمامية وينقله إلى الأوعية الدموية فوق الصلبة عبر الأوردة المائية. سمِّيت على اسم مكتشفها عالم التشريح الألماني فريدرش شليم (1795-1858).

13 «زاوية الحجرة الأمامية» أو «زاوية البيت الأمامي» (Anterior Chamber Angle).

الحوض القُدّامي، وتُسَمَّى على الأكثر (الزاوية القُزَحيّة). فهذه الناحية ذات خطورة عُظمى، وذلك لأنّ كمالها وسلامتَها يتعلقان بدوران اللنف الذي يغذي القسم القُدّامي لكرة العين. وأمّا عمق الحوض المذكور فقابل للتحول، وهو أعمق نوعًا ما في سن الشباب وفي قصيري البصر، وعندما تكون العين متطابقة لأجل الرؤية البعيدة، وبالعكس يكون أقلّ عمقًا في الشيخوخة وفي مديدي البصر، وعند مطابقة العين لأجل الرؤية القريبة.

تتغذى كرة العين بفضل الشبكات الوعائيّة والخلال (الفجوات) اللنفاويّة المبذولة: فالشبكيّة يتغذى وجهها الباطني من أوعيتها المركزيّة المخصوصة، ويتغذى وجهها الخارجي من المشيميّة الشعريّة. أمّا الجسم البلّوري مع محفظته فيأخذ الغذاء من المشيميّة. وفي رأي باناس (Panas) يأخذ غذاءه من الشبكيّة؛ فهذا المؤلِّف يتصور وجود جريان يمرّ من الجسم الزجاجي ويوصل العصارة الغذائيّة من الشبكيّة إلى الجسم البلّوري. وفي باطن الجسم البلّوري يجري دوران المايعات بين خلال طبقاته المختلفة، وينصَبّ بعدئذ في الحوض القُدّامي.

فاللنف المبحوث عنه معروف باسم الخلط المائي، وهو يُفرَز من غدة خاصة كائنة في الزوائد الهُدْبيّة، ومؤلفة من طبقة مُرشِّحة بشريّة[14]، وهي تمتد من الشبكيّة إلى الهُدْبيّة وقنواتها المُفَرِّغة، وهي القناة المشرشرة (Canal Godronnee) «الموجودة بين الأربطة المعلقة للجسم البلّوري» والحوض الخلفي. أمّا مستودعها فهو الحوض القُدّامي. كُشِفَت هذه الغدة للخلط المائي من قبل مولّر (Muller)، في سنة 1857 ووُصِفَت من قبل بوشه رون (Boucheron) في سنة 1882. ودرسها على الخصوص نيقاتي (Nicati) في سنة 1890. ولا تنحصر مكانتها في الحالة الفيزيولوجيّة (أي الدّورانيّة - الغذائيّة) للعين فحسب، بل لما ينشأ عنها من الأمراض. كما أنّ الأستاذ بادال (Badal) أخبر وأشاع أنّ حالة قارسينوم (carcinoma)[15] متولدة من البشرة المُرشِّحَة للغدة المذكورة نفسها. والخلط المائي المذكور - عدا عن أنّه ينفرز من الغدّة المتقدم ذكرها، والمكونة من البشرة المُغَشِّية للزوائد الهُدْبيّة - يرشح أيضًا من بشَرة السطح الخلفي للقُزَحيّة.

أمّا تركيب الخلط المائي المذكور فيختلف عن المايع (السّائل) اللنفاوي الموجود في الجسم، خصوصًا من حيث قلة الزُّلال (Albunim) فيه. وهو مايع (سائل) رائق صافٍ سيّال، كثافته بدرجة (1.007)، ويحتوي على مقدار قليل من المصل الزُّلالي (Sero Globulin)، وعلى المصل الكروييني (Serum Albunim) ، وعلى أثر من السكر والبولة (Ure). أمّا مدة تجدد الخلط المائي فتنوف على الساعة في الحالة الطبيعيّة. ولكن حينما يكون الحوض القُدّامي مفتوحًا يتجدد ويمتلئ بأسرع من ذلك مع تزايد كلّي في كميّة الزُّلال.

تمرّ عدة مواد من الدم إلى الخلط المائي بشكلها الأصلي، مثل حديد كيانوس البوتاس[16] (Ferrocyanure de Potassium)، وأيودور الكلس (Iudure de Kalcium)، بينما نجد الزُّلال - مثلًا - يمر منه مقدار جزئي بالشروط الطبيعيّة. وإنّ فلوئوره سي[17] (Fluoreaceine) يكاد يتوقف تمامًا عن المرور. وكذلك سيتوتوقسين[18] (Cytotocsineيتوقف أيضًا. ولكنّ الأنتيقور (Anticorps)، من النوع المُلصِق (Agglutinin) والمُرَسِّب (precipitin) يمرّ بمقدار كلّي. ويرجع حبس بعض المواد وتوقيفها لفعل انتخابي من قبل بشَرة الزوائد الهُدْبيّة، ويُحتَمَل أيضًا أن يكون من البشَرة الداخليّة للأوعية.

ووظيفة الخلط المائي في حقيقة الأمر ليست مرتبطة بتغذية كرة العين، بل تنحصر في تنظيم توتر داخل العين، والمحافظة عليه بقرار طبيعي ثابت. والخلط المائي المذكور بعد أن ينفرز، ينصبّ أوّلًا في الحوض الخلفي، ثمّ يَعبُر ويمرّ من الحدقة ويصل الحوض القُدّامي. ومنه يخرج ويُفَرَّغ بواسطة خلال الرّباط المِشطي (أي خلال فونتانا) وينصب منها إلى الضفيرة الوريديّة (أي قناة شله م)، ومن هناك يدخل في الأوردة الهُدْبيّة القُدّاميّة ويختلط بالدّوران العام.

تأثير الأعصاب في تغذية كرة العين

تغذّي العين تابع لتأثير نوعين من الأعصاب: الأول العصب السّمباتي، وخاصته تقبيض الأوعية (Vaso-Constricteure)، والثاني عصب التوأم الثلاثي، وخاصته توسيع الأوعية (Vaso-Dilatateure)). فإذا نُبِّه الأول أي السّمباتي الرقبي وهُيِّج يتولد فقر دم في المُنضمَّة وتتوسع الحدقة مع اتساع الفرجة الجفنيّة، وحصول حرارة موضعيّة، وانخفاض التوتر الشرياني. أمّا عند قطعه فيحصل عكس الحالات السالفة، لأنّ العين تبقى تحت تأثير التوأم الثلاثي. فإذا نُبِّه التوأم الثلاثي بخلاف الأول يَحدُث توسع كبير في الأوعية مع احتقان كرة العين، وتقبض الحدقة، وفرط حساسيّة العين. وعندما ينقطع حذاء عقدة غاسّر (Gasser) ومن قُدَّامِها، تحدث تغيرات وخيمة مثل تقيح العين وذوبانها بسبب عدم تغذيتها. فعصب التوأم الثلاثي يملك إذًا خواصّ وأوصافًا مُغذِّية للعين، ولكن من أين تأتيه الألياف بتلك الخواص؟

بالنظر إلى أبحاث برنارد (Bernard) الذي - رغم أنّه قطع التوأم الثلاثي بين عقدة غاسّر والحَدَبة (Protuberance) - لم يصادف أو يعثر على أقلّ اختلال في تغذي العين بتاتًا. ويُعتَبَر اليوم أنّ الأوصاف المُغذِّية عائدة بصورة خاصّة إلى الجذر السفلي للتوأم الثلاثي. ومع ذلك نرى الجذر السفلي يشتمل على مقدار عظيم من الألياف السّمباتيّة[19]. وفي هذه الحال يرجع وجود الخواصّ المغذية إلى مفاغمته مع السمباتي[20] فقط. كما شوهد مريض لديه بطلان حسّ تامّ في كلّ نواحي توأم الثلاثي دون أدنى أو أقلّ اختلالات غذائية في عينيه. وأساسًا نرى الجراحين يستأصلون عقدة غاسّر دون حدوث اختلال غذائي في العين أصلًا، لأنه يوجد أمام عقدة غاسّر خيوط سمباتيّة تتصل بالتوأم الثلاثي.

14 بشرويّة: للنسبة إلى البشَرَة نستخدم كلمة «بشرويّة» وليس «بشرية».

15 حالة قارسينوم (carcinoma): السرطان. ولعلّ المقصود هنا أورام الجسم الهدبي.

16 وهو فروسيانيد البوتاسيوم.

17 فلوريسين.

18 السايتوسين أو السيتوزين.

19 المصطلح المستخدم في الترجمة حاليًّا هو «ودّية» وليس «سمباتية».

20 لعلّ الصحيح هو المفاغرة (بالإنجليزية: Anastomosis)، وهي اتصال أو انفتاح بين شيئين (خاصةً التجاويف أو المسالك) عادةً ما يكونان متباعدين أو متفرعين، مثل الأوعية الدموية أو الهياكل الأنبوبيّة في الأمعاء. وفي المقال هنا، لعلّ المقصود هو احتواء العصب الثلاثي التوائم على ألياف عصبية ودّيّة «سمباتية» إضافة إلى الألياف العصبية العادية، ووجود وصلات أو مفاغرات ما بين العصب الثلاثي التوائم والجهاز العصبي الودّي «السمباتي»، وهذه الألياف الودية هي المسؤولة عن إفراز الخلط المائي حسب الكاتب.

توتر داخل العين

إنّ جدران كرة العين غير قابلة للتمدّد والتمطّط. أمّا كتلة المايعات التي تحتويها فتتجدّد وتتبدل على الدوام بشرط أن يكون هناك توازن وتساوٍ ثابت ومنتظم للغاية بين الإفراز والإفراغ. تكثر الإفرازات تحت أسباب المطابقة التي تَعوق الدّوران الوريدي وتمنعه بواسطة تقلص العضلة الهُدْبيّة للمطابقة وضغط العضلة الحِجاجيّة (Orbiculaeir). ويوجب تقلص عضلات خارج العين الموانع نفسها أيضًا. وما عدا ذلك فإنّ جميع الأسباب التي تزيد التوتر في الجملة الوعائيّة توجب موانع في الدّوران الوريدي. أمّا الطرق الإفراغيّة فإنّها تتلافى وتعوض تلك الزيادة في الإفراز بفضل قابليّة نفوذها، وتحافظ على التوتر بالدرجة الطبيعيّة التي تعادل لعمود زيبقي بارتفاع 25 ميليمتر[21]. إذًا في الشروط الفيزيولوجيّة الاعتياديّة تعتري سعة كرة العين (Capacite) بعض التحولات وتستولي عليها، ولكنّها تكون بدرجة قليلة وغير محسوسة حتى إنّه يمكن تجاهلها، ويُعتبَر (التوتر العيني) دائمًا وبوجه عام ثابتاً وبقرار واحد.

أنواع الغلوقوم

بالنّظر إلى تفاوت السرعة في تزايد توتر العين، ونظرًا لاختلاف درجة التزايد وكيفيّة حصولها في المرض، يُقسَم الغلوقوم إلى نوعين:

الأول: النوع الأصلي (Primitif) إن لم يتولّد من مرض عيني سابق.

والثاني: النوع التالي (Secondaire) إن تولد من مرض آخر في العين.

أمّا الغلوقوم الأصلي فله شكلان: 1) الشكل الالتهابي أو الاحتقاني. 2) الشكل اللاالتهابي أو اللااحتقاني، ويسمى أيضًا بالغلوقوم البسيط.

والشكل الالتهابي يُقسَم إلى قسمين: 1) الغلوقوم الالتهابي الحاد. 2) الغلوقوم الالتهابي المزمن.

فبين هذه الأنواع نجد أنّ الغلوقوم البسيط (الخفي) له أهميّة وخطورة أكثر من غيره بسبب تكوّنه بصورة خفيّة، ولكثرته ووجوده بنسبة أربعة أخماس من مجموع إصابات الغلوقوم في بلادنا، فلذلك سأحصر كلامي فيه فقط.

الغلوقوم البسيط (الخفيّ)

لا يُعرَف وجوده ويتحقق بعلامات وأعراض خارجيّة أصلًا. ويمكن أن يزداد وينمو إلى درجة العمى التام دون أن يشعر به المريض، وخصوصًا إذا كان منحصرًا في إحدى العينين مع سلامة العين الثانية. أمّا تشخيص المرض وكشفه فيتوقف على معرفة التغيرات الحُلَيميّة والاختلالات الوظيفيّة.

التغيرات الحُلَيميّة

تتحقق بالمجهر العيني (Ophtalmoscope)، وهي على ثلاثة أنواع:

- **الأول:** النبض الشرياني Pouls Arteriel)): الذي يحدث عند انبساط القلب (Diastole). ويتّصف بظهور تقطُّع فجائي في العمود الدّمَوي الموجود في قسم الشَّريان الكائن على الحُلَيمة. وإن يكن يشاهَد أحيانًا نبضان في الوريد أيضًا، فإنّه لا يدل على مرض بل هو فيزيولوجي طبيعي. أمّا كيفيّة حصول النبض الشرياني فهو أنه عَقيب ازدياد الضغط الناشئ من تزايد التوتر خارج الشَّريان لا يمكن للدم أن يتغلب على دفع جدار الوعاء المضغوط إلّا عند تقبض القلب (Dyastole)، بينما يرتخي الشريان وقت الانبساط ويتكمش، وعندها يظهر العمود الدّموي فيه متقطعًا.
- **الثاني:** تقعّر ضمور الحُلَيمة (Ezavation et atrephic de la papille): إنّ حُلَيمة العصب البصري بسبب كونها واقعة في أضعف قسم من الصُّلبة التي هي الصفيحة الغربالية، وباستمرار تأثير الضغط الداخلي عليها ودوامه - تكون مدفوعة إلى الخلف، ويتحصل فيها تقعُّر. ويُعرف ذلك التقعّر من العكس الانعطافي للأوعية الشبكيّة في حافة الحُلَيمة. أمّا القسم الذي يعقِب الانعطاف في الأوعية المذكورة فيغيب عن النظر ولا يشاهَد. ولذلك تُرى الأوعية كأنّها منقطعة بعد الانعطاف. وحينما يكون التقعّر كبيرًا في العمق يمكن تقدير درجة العمق في مساحة المسافة القُدّاميّة الخلفيّة للعين بطريقة فحص الخيال المستقيم (Image droit) بواسطة المجهر العيني. فعندئذ ترى المسافة المذكورة زائدة بمقدار (2-3) ميليمترات عن الحدّ الطبيعي الذي هو (22) ميليمترًا. ومع التقعّر يكون لون الحُلَيمة نفسها كامدًا، ما يدل على ضمورها تمامًا. وبما أنّ مناظر وأشكال التقعّر الغلوقومي، والتقعّر الفيزيولوجي، والتقعّر في الضمور البسيط للعصب البصري يشابه بعضها بعضًا نوعًا ما، يقتضي وينبغي الوقوف على الأوصاف الفارقة لكلٍّ منها.
  - **التقعّر الفيزيولوجي:** تُشاهَد في وسط الحُلَيمة ناحية مُدَوَّرة واسعة ومُحدَّدة بوضوح، ولونها أبيض ناصع، فهذه الناحية هي (التقعّر الفيزيولوجي). وبين حافّة العصب البصري والتقعّر المذكور يُرَى حول هذا التقعّر شريط واسع من نفس النسيج الحُلَيمي الطبيعي، وتُرى الأوعية الشبكيّة مارّة من حافّة الحُلَيمة دون تقطع أو انفصال أو تحول في استقامتها، سوى أنها عند وصولها إلى التقعّر تنعكف وتتقوّس خفيفًا، ثمّ تعبر بعد ذلك إلى غور التقعّر ونهايات الأوعية المركزيّة التي تظهر وتبين جليًّا وبكلّ وضوح.
  - **التقعّر في الضمور البسيط للعصب البصري:** يُرى العصب بالشكل والحجم الطبيعيين، سوى أنّ لونه متحول إلى أبيض سنجابي بصورة متجانسة في جميع امتداداته ما عدا مدخل الأوعية حيث يكون أبيض ناصعًا. والأوعية تكون بقطرها Calibre)) الطبيعي في بادئ الأمر. أمّا في الأدوار المتقدمة فتصبح الشرايين رفيعة وتَدِقّ نسبةً إلى حالتها الأصليّة. فإن لم يكن في أصل العصب البصري تقعّر فيزيولوجي لا يتكون فيه أيّ تقعر عند ضموره، لأنّه عند ضمور الألياف العصبيّة يبقى فيها النسج (النسيج) العصبوني Nevroglique)) ويستمر وكذلك النسيج المنضمي[22] حتى إنّه يزداد حجمًا. ولذلك لا يوجد فرق

21 عمود زئبق بارتفاع 25 ميليمتر: وحدة قياس الضغط المعيارية ضمن جوف العين، كما في جوف القلب والشرايين، هي الميليمتر من الزئبق، وهي كما وصفها الكاتب تقاس بارتفاع عمود (قُنَيَّة) من الزئبق، كأن نقول 20 ملم زئبقي، أو 40 ملم زئبقي، وتعبّر عن مستوى ارتفاع الزئبق.

22 النسيج الضامّ.

استواء آليّة بين الشبكة والحُلَيمة للعصب البصري، أمّا إذا كان فيه تقعر فيزيولوجي كبير فإنّ ذلك التقعّر يبقى عَقيب الضمور، ولكن مهما كان جسيمًا فإنه لا يصل إلى حدّ الحافة مطلَقًا.

- **التقعّر الغلوقومي:** Excavation glocomateuse)): يكون التقعّر الغلوقومي بعد أن يتكوّن حافيًّا أي واصلًا إلى حافة الحُلَيمة تمامًا. وتكون حاشيته قائميّة، وتبدو جدرانه تقريبًا مُخَيِّمة (Sorplombant) على غور التقعّر. والأوعية في حافة الحُلَيمة، وفي محلّ تماديها مع الشبكيّة، تنعطف بَغتَة كي تسير في التقعّر، أو بتعبير آخر تنتهي بكُلّابة (تقوّس) وتغيب عن النظر، وتتّحد في النهاية مع الأوعية المركزيّة.

يكون التقعّر الغلوقومي كليًّا وممتدًّا في كلّ جهة إلى حدّ الحافة، ومن النادر أن يكون قِسميًّا. فإذا كان قِسميًّا فإنّ الأوعية الشبكيّة تكون في ذلك القسم من التقعّر منعطفة بغتة بحذاء الحافة الحُلَيميّة، أمّا في بقيّة أقسام الحُلَيمة فيكون للأوعية الشبكيّة انعطاف أو تحول، فلا يُرى في استقامتها. ومع ذلك، فإنّ وجود انعطاف تامّ في حافة الحُلَيمة ولو في وعاء واحد كافٍ لوضع تشخيص الغلوقوم.

أمّا لون الحُلَيمة فيكون في بادئ الأمر سنجابيًّا ضاربًا إلى الحمرة أو سنجابيًّا مخضرًّا. ويصبح بعد ذلك أبيض لامعًا. وعَقيب الضمور تظهر تغيرات في الأوعية، مثل توسع الأوردة وتقبض الشرايين مع نبضاتها. وفي الأدوار المتأخرة يحصل في جدران الأوعية ثخانة وانسداد قسمي، ومفاغمة (ومفاغرة / اتّصال) الأوردة في التقعّر.

- **الثالث من التغيرات في الحُلَيمة (الهالة الحُلَيميّة):** بعد التقعّر يشاهد في محيط الحُلَيمة حلقة بيضاء مُصفَرّة مختلفة الاتساع تسمى (الهالة الغلوقوميّة). وهي تنشأ من ضمور المشيميّة وضمور الطبقة البشريّة الصِّباغيّة للشبكيّة حول الحُلَيمة. ومع ذلك فإنّ هذه العلامة ليست خاصة بالغلوقوم فقط، بل تصادَف في الشيخوخة وعند ذوي التصلب الشرياني.

الاختلالات الوظيفيّة (Trouble fonctionnelle)

وهي على خمسة أنواع:

1) تضيّق سَعة الرؤية: يقع التضيّق على الخصوص في الجهة الأنفيّة قبل غيرها. وتبقى الجهة الصُّدغيّة على حالها سالمة مدة طويلة. والسبب في ذلك أنّ القسم الصُّدغي للحُليمة التي ترى وتنظر الأشياء الكائنة في طرف الأنف أقلّ ثخانة، وأقلّ عددًا من الألياف العصبيّة. ولذلك يبدأ الضمور أولًا من ذلك القسم الضعيف والنحيف. ومع تقدم المرض وتزايده يحصل تضيُّق في الجهات الباقية أيضًا. ومع التضيُّق في سعة الرؤية المحيطيّة تصادَف في نفس السَّعة بضع بقع عمياء Scotome)). وهي تكون مطلقة أو نسبيّة وبعضها مركزيّ، إذ تكون على الأكثر في محيط المركز. ونادرًا ما تكون بعيدة عن المركز. وإذا كان الغلوقوم ذا جانبين تكون تلك البقع متناظرة نوعًا ما. ويمكن عندئذ اختلاطها والتباسها بعطلة البصر السمّي (Amblyopie toxique)[23] التي تحدث عند المنهمكين في شرب الخمر والتدخين، وفي التسمم بالكتين[24] والرصاص وغيرهما. وأحيانًا تكون العلتان موجودتين في آنٍ واحد، فيصعب التمييز بينهما في هذه الحالة.
2) تناقص الرؤية المركزيّة: تبقى الرؤية المركزيّة سالمة مدة طويلة، ولكنْ مع تزايد التضيّق في سَعة الرؤية يعتريها ضعف ونقص تدريجيّان إلى حين العمى المُطلَق.
3) ضعف حسّ الألوان (Sens chromatique): يبقى حسّ الألوان ويدوم مدة طويلة دون تغيير أو تبدل، سواء كان في الرؤية المركزيّة أم في الرؤية المحيطيّة. ولكنْ حينما يحلّ الضمور ويستقر في العصب البصري، يتولاه ضعف ونقص. ومع ذلك فإن الألوان المختلفة تحافظ دائما على الأبعاد المجاورة نفسها، وهي التي تكون في الحالة الطبيعيّة بسعة الرؤية (Champevisuel)، ليس فيما بينها فقط، بل بالنسبة إلى اللون الأبيض أيضًا. وعندها يكون تضيّق حسّ الألوان وتناقصها في سعة الرؤية منتظمًا ومتناسبًا في جميع جهاتها اعتبارًا من اللون الأبيض حتّى اللون الأخضر. بينما نرى - بعكس ذلك - إمكان وقوع عمى أو ضعف حسّ الألوان المُطلَق في حال ضمور العصب البصري، مع المحافظة النسبية على الإحساس بالأشكال ورؤيتها.
4) ضعف حس الضياء (Sens Lumineuse): يبقى حسّ الضياء سالمًا مدة طويلة، ثم - بتزايد الضغط الداخلي - تتناقص حساسيّة الشبكيّة، وينشأ عندئذ ضعف حسّ الضياء، وذلك بنسبة التضيّق في سَعة الرؤية. وحين يشتدّ ضعف الحسّ الضيائي يصعب على المرضى السير ليلًا، فيصيرون مصابين بالعَشا (Hemeralpie).
5) تناقص قدرة المطابقة (Diminution d'accommodation accommodation): بسبب الضغط الناشئ من فرط التوتر على العضلة الهُدْبيّة، وتصلّب الجسم البلّوري مع ضياع المطاطيّة[25] ، يتولد مدّ بصر شيخي غير متناسب مع العمر، وهو ما يتطلب استعمال عدسات مُحَدَّبة تزيد قوتها على الحاجة، فهذا أيضًا دليل مبين وكاشف لسرّ المرض.

التشخيص التفريقي

يلتبس الغلوقوم البسيط بالسّادّ على الأكثر في بلادنا. مع أنّه في السّادّ يجب التربّص إلى حين تكامل كثافة الجسم البلّوري. أمّا في الغلوقوم فبالعكس، يقتضي التعجيل في المداخلة الجراحيّة أو التداوي، وإلّا ينتج خراب في العين أو عماها أخيرًا. وقد كانت هناك (131) حالة من (220) إصابة بالغلوقوم المطلق انتهت بالعمى التامّ. وفي غالب الاحتمال، كان ذلك المقدار من المصابين ضحيّة سوء التشخيص ظنًّا أنهم مصابون بالسّادّ، مع أنّ تفريقها سهل للغاية، ففي السّادّ توجد كثافة في الجسم البلّوري تتحقق بواسطة معاينة التنوير الجانبي (Eclairage Lateral) والمعاينة بالمجهر العيني. ولا يوجد أيّ تبدل في سعة الرؤية، ولا في حسّ الألوان.

23 يرد: الغَمَش السُّمّي أو التَّغذَوي أو اعتلال العصب البصري السُّمّي أو التغذوي.
24 بالكينين.
25 المرونة.

ويقع ثاني التباس بين الغلوقوم البسيط وضمور العصب البصري، ولكنّ أوصاف التقعّر وأوصاف حسّ الألوان المُتقدِّم ذكرها كافية للتفريق بينهما بصورة قطعيّة.

الأنذار[26] في الغلوقوم

الأنذار يكاد يكون دائمًا مظلمًا وشائكًا. ومن أجل ذلك وضع الأستاذ «لاقرانج» في الجمعيّة العينيّة الفرنساويّة بعض دساتير لأجل استخراج حالة الأنذار في الغلوقوم عام 1913. وهي على عدة أقسام:

- **الأول** منها: يختصّ بالحالة العموميّة للجسم، فالحالة العموميّة يجب أن تُفحَص بكلّ دقة لأنّ الحالة العصبيّة (Nervosisme) والمصابين بها تكون جملتهم السّمباتيّة المُحرّكة للأوعية (Vaso Motare) مستعدة لتوليد هجمات احتقانيّة بوقوع أقلّ تنبّه وتهيّج. ولذلك نرى أنّ المصابين بتصلّب الأوعية وتغيّراتِها، ومن جملتها الأوعية العينيّة، إذا كانوا في الوقت نفسه عصبيين، يمكن ظهور تزايد في توتر المقلة فجائيًّا تحت تأثير انفعال شديد.
- **الثاني** منها: يختصّ بالعلامات المرئيّة (Objective)؛ فبواسطة مقياس التوتر (Tenometre) نقف على تحولات التوتر في العين. فإنّ حصول تزايد فجائي شديد مع قلّة عمق الحوض القُدّامي يُعَدّ دليلًا مشؤومًا (علامة سلبية). و يحذر (لاقرانج) ويلفت الانتباه إلى لون الحلميّة[27] إذا كانت كدرتها غير متناسبة مع عمق التقعّر وقطر الشرايين، وإلى حالة المنضمّة في محيط القرنيّة، وذلك لأنه إذا كانت مع التصاقها الشديد بها تتمزق بسهولة عند مسكها بالملقط بسبب هشاشتها وقابليّة تفتتها، وإلى صغر جسامة القرنيّة، فجميع ذلك يسيء الأنذار.
- **الثالث** منها: يختص بالعلامات المرويّة .(Subjective) إنّ الأشخاص الذين يُظهِرون اضطرابًا كبيرًا، والمشتكين من إفراط اختطاف النظر وظلامه (Obnublisme)، ومن العَشاوة والتناقص في حسّ الضياء، ومع وجود ذلك في جميع أنواع الغلوقوم، يُستدَلّ بها على عصبيّة المصاب (Nervosisme)، ويكون الأنذار سيّئًا. لكنّ القاعدة الأساسيّة أن يُنظَر إلى حالة سعة الرؤية ويُستَنَد إليها من حيث تضيّقها في الجهة الأنفيّة، ووجود بقع عمياء (Scotom) في محيط مركز الرؤية. ويأتي في الدرجة الثانية التضيق العلوي ثم الأسفلي من سعة الرؤية. فبمقدار ما يكون التضيّق قليلًا يكون الأنذار حسنًا ومساعدًا. أمّا إذا كان التضيق زائدًا وقريبًا من نقطة التثبيت في مقياس سعة الرؤية (Perimetre) فيكون الأنذار وخيمًا للغاية. وتدلّ البقع العمياء (Scotom) في محيط المركز على وجود خلال (Lacuna) في العصب البصري وفي محيط اللطخة الصفراء (Macnlns) أيضًا، مما يهدد بفناء وظائفها وتلاشيها. ويُستنتَج من ذلك سوء سير المرض، إضافة إلى أنّ حصول نقص فجائي في حسّ الألوان (Sens de coulr) يدلّ على ذلك أيضًا.

بيان إحصاء أمراض باطن العين السنوي
عن سنة 1924

أنواع المرض	بسيط	مطلق	تالٍ	التهابي	المجموع
الأمراض الدّورانيّة - الغلوقوم	45	131	39	5	220
أمراض الجسم البلّوري					326
أمراض القُزَحيّة والهُدْبيّة					34
أمراض المشيميّة					10
أمراض العصب البصري					18
أمراض الشبكيّة					3
أمراض باطن العين السنوي					611

أمراض خارج العين السنوي	5789
أمراض باطن العين السنوي	611
المجموع	6400

مجموع الغلوقوم بنسبة تقارب 4٪ من مجموع أمراض العين السنوي، ومجموع الغلوقوم البسيط والمطلق بنسبة 4 إلى 5 (أربعة أخماس) مجموع مرض الغلوقوم.

ومرفق صورة المقال الأصلية في الجلة الطبية البغدادية، العدد الأول ١٩٢٥

26 لعلّ المقصود هنا «الإنذار»، وهو كمصطلح طبي: المسار المحتمل أو النتيجة المتوقعة لمرض ما. وبعبارة أخرى التنبؤ أو استشراف النتائج التي ستصل إليها الحالة المرضية كالشفاء أو النكس أو الوفاة ...

27 الحُلَيمة.

استسقاء العين

مقال الدكتور عبدالرحمن المفيد الذي القاه في اجتماع الجمعية الطبية البغدادية المنعقد في ٨ نيسان ٩٢٥ .

حضرات سادتي الزملاء الافاضل !

لو جاز لنا ان نعتبر العين (كبدن انساني مستقل) لها احشاء وجملة عصبية وجملة دورانية وغير ذلك بمثابة اقسام باطنيه، ولها ايضاً جملة عضلية لأجل تحريكها ولحافات جلدية واغشية مصلية لسترها ومحافظتها، وعدد عرقية (الدمع) ودهنية لترطيبها وتأمين رونقها وجلائها وذلك بمثابة اقسام خارجية، لحق لنا عندئذ ان نقسم امراض العين الى قسمين : القسم الاول ـ الامراض الباطنية والثاني ـ الامراض الخارجية .

اما امراض العين الباطنية ، فقد كان المصابون بها الذين لجاؤا الى المستشفى في مدة سنة (٦١١) من عدد (٦٤٠٠) وهو مجموع امراض العين السنوي. ومن كمية امراض العين الباطنية (٢٢٠) اصابة اي اكثر من ثلثها وكذلك بنسبة نحو ٤٠ ٪ من مجموع امراض العين السنوي عائدة للغلوقوم . بينما نرى ان الكتب الطبية تدون نسبة ١٠ ٪ و بذلك نرى في بلادنا ان نسبة امراض الغلوقوم القتاكة تزيد ثلاثة اضعاف عنها في البلاد الاوربية . بينما نجد ان بقية الامراض الباطنية « كامراض العصب البصري ، والشبكية والمشيمية والهدبية والقزحية » هي قليلة جداً بخلاف البلاد الاوربية . كما سيتضح لحضراتكم من مطالعة قائمة الاحصاء السنوي للامراض العينية في سنة ١٩٢٤ . سوى ان كمية امراض الجسم البلوري تزيد على نصف كمية الامراض الباطنية. ولكن لا

يخفى على حضراتكم ان معظم تغيرات الجسم البللوري ليست مرضية بل تعد فيزيولوجية . و بما تقدم نرى ان الغلوقوم اي الامراض التي تتولد في الجملة الدورانية للعين تستوجب البحث والاهتمام اكثر من غيرها نظراً لتفشيها وكثرتها وعواقبها الوخيمة . ولذلك استسمحكم لأن اعرض نبذة من الايضاحات المهمة عنها .

ان العلماء والحكماء الاولين في اوروبة اطلقوا اسم الغلوقوم بالنظر الى اللون الاخضر والازرق الذي يشاهد في الحدقة في ادوار المرض القديمة والمترقية . واطباء الترك ترجموا المعنى الاصلي لكلمة الغلوقوم اللاتينية فسموها « داء الزرقة » ، ولكن لا يخفى على حضراتكم ان ذلك اللون غير موجود وغير شامل لجميع ادوار المرض واشكاله . وعدا هذا فان تلك التسمية لا تفيد في تصور شيء من احوال المرض المسمى وتكوّنه . ولذا ارى انا لو اطلقنا كلمة (استسقاء العين) على هذا المرض لكان المعنى اشمل ومطابقاً لحالة المسمى نفسها ، كما سيظهر لحضراتكم من تلاوة ما بعده .

الغلوقوم او ـ استسقاء العين ـ

مرض يختل فيه دوران داخل العين و يوجب احتباس المايعات مع تزايد التوتر في باطنها . ومن اجل ذلك وجب علينا ان ندقق في بادئ الامر حالة الدوران :

الدوران ـ إن تغذي المقلة (او كرة العين) يحصل بواسطة نوعين من الدوران : الاول : الدوران الدموي ، والثاني : الدوران اللنفاوي . فالدموي فيه ثلاثة اصناف من الاوعية . (١) الاوعية الشبكية ـ التي تتركب من شريان العصب البصري ووريده المركزي . (٢) الاوعة الهدبية ـ التي تتألف من الشرايين الهدبية الخلفية القصيرة والطويلة . ومن الشرايين

الهدبية القدامية . فمن هذه الشرايين تتكون شبكة شعرية للمشيمية وللجسم الهدبي ، ومنها ايضاً تتولد الدائرة الشريانية الكبيرة للقزحية التي تصدر منها شرايين القزحية المؤلفة للدائرة الشريانية الصغيرة في حذاء المعصرة للحدقة . اما الاوعية الوريدية فقسم منها يتكون في محيط القرنية باسم اوردة هدبية قدامية . والقسم الباقي معظمه يؤلف الاوردة الملتوية Vorticosa . (٣) الاوعية المنضمية — وهي مشتركة ومتفاغمة مع الاوعية الهدبية القدامية .

الدوران اللنفاوي — انه بسبب علاقته بالغلوكوم ذو شأن اكبر من الدوران الدموي . ففي قسم كان من كرة العين خلا المنضمة لا يحتوي على اوعية لنفاوية اصلية بل انه يوجد فيها عوضاً عن ذلك مجاري واحواض مخصوصة لجريان اللنف . وذلك لأنه عقيب حقنها وجدت مشتركة بعضها ببعض ومفروشة بالبشرة الداخلية (Endothelium) كما هو في ، الاوعية اللنفاويه . وهي على قسمين قسم خلفي وقسم قدامي .

المجاري اللنفاوية الخلفية . — على عدة انواع . (١) المجاري اللنفاوية الشبكية ، الموجودة في جذع العصب البصري . (٢) القناة الهلامية — Hyaloidien ، التي تمر في العين من الخلف للقدام من الحليمة الى المحفظة الخلفية للجسم البلوري . وهي تبقى في الجسم الزجاجي بعد امتصاص شريانه الهلامي الجنيني . وتنقل اللنف من الجسم الزجاجي الى الخلال (Espace) اللنفاوية الموجودة في الاوعية المركزية للعصب البصري . (٣) خلل (١) — فجوة فرضية — بين الشبكية والجسم الزجاجي التي تمتد قداماً الى قاعدة رباط الجسم البلوري Zonul وخلفاً حتى جذع العصب البصري . وهذا الخلل (فجوة) تشترك مع خلال الجذع العصبي ومع القناة الهلامية . (٤) فجوات (Espace) فوق المشيمية ،

(١) الخلل — الفجوة : بمعنى الفرجه والمتسع بين الشيئين ،
ومنه قوله تعالى « فترى الودق يخرج من خلاله » ، — « وهم في فجوة منه » .

وهي الواقعة بين الصلبة والمشيمية، ومشتركة مع فجوات الاوردة الملتوية الموجودة في المشيمية ومنها تتصل بفجوات تنون Tenon وتتمادى مع الفجوات الموجودة فوق غمد العصب البصري . (٥) فجوات واقعة بين كرة العين ومحفظة تنون.

قسم المجارى اللفاوية القدامية . — تتكون من حوضين جسيمين. حوض خلفي (١)، وحوض قدامي .

الحوض الخلفي — Chambre Posterieure : وجوده فرضي ووهمي . وذلك لانه حين توسع الحدقة لا يكون موجوداً . ومحدود قداماً بالوجه الخلفي للقزحية ، وخلفاً بالوجه القدامي للجسم البلوري ، ومن الأعلى بالزوائد الهدبية وشكله مثلثي ذروته للاسفل ، وفي قاعدته يشاهد توجات ممتدة ومتداخلة شعاعياً بين اثلام الهدبية قداماً وفي منطقة الزن للجسم البلوري خلفاً ، ومسماة بالشبكة الخلفية . وهذا الحوض يشترك واسعاً مع الحوض القدامي بواسطة الحدقة.

الحوض القدامي — chambr anterieuru. — محدود قداماً بالوجه الخلفي للقرنية ، خلفاً بالوجه القدامي للقزحية ، وجنباً بالرباط المشطى وبالقسم القدامي للجسم الهدبي . فالرباط المشطى يتكون من غشاء (ده سه مه) احدى طبقات القرينة التي تتشعب فى حدود القرينة الى حزيمات لكي تربط وتوحد الصلبة بجذر القزحية . ومن تقاطع وتصالب تلك الحزيمات يتكون بينها خلال مشترك مع نفس الحوض القدامي ، ومفروش بالبشرة الداخلية ومعروفة باسم (فجوات — خلال فونتانا — Espace de Fontana) .وفي الجهة الوحشية للفجوات المذكورة اي بمحل اجتماع الصلبة بالقرينة يوجد ضفيرة وريدية تسمى (قناة شله م) . فناحية الحوض القدامي التي تتلاقى وتجتمع فيها حافة الصلبية — القرينة ، والقزحية ، والرباط المشطي تسمى زاوية او كهف (Sinus)

(١) ستنشر الاصطلاحات الفنية مع مقابلها باللغات الاجنبية في آخر المجلة.

SCANNED by Dr.Saad Al-Fattal

الحوض القدامي، وعلى الاكثر تسمى (الزاوية القرنية) . فهذه الناحية ذات خطورة عظمى وذلك لان كاملها وسلامتها تتعلق بدوران اللنف الذي يغذي القسم القدامي لكرة العين . واما عمق الحوض المذكور فقابل للتحول . فهو دوما اعمق في سن الشباب وفي قصيري البصر، واثناء ما تكون العين متطابقة لاجل الرؤية البعيدة ، وبالعكس اقل عمقاً في الشيخوخة وفي مديدي البصر، وحين مطابقة العين لاجل الرؤية القريبة .

فبفضل الشبكات الوعائية والخلال (الفجوات) اللنفاوية المبذولة تتغذى كرة العين : فالشبكية وجهها الباطني يتغذى من اوعيتها المركزية المخصوصة ، ووجهها الخارجي يتغذى من المشيمية الشعرية . والجسم البلوري مع محفظته يأخذ الغذاء من المشيمية . ونظراً الى « باناس ـ Panas » من الشبكية . فهذا المؤلف يتصور وجود جريان يمر من الجسم الزجاجي ويوصل العصارة الغذائية من الشبكية الى الجسم البلوري . وفي باطن الجسم البلوري دوران المايعات يجري بين خلال طبقاته المختلفة . وبعدئذ ينصب في الحوض القدامي .

فللنف المبحوث عنه معروف باسم الخلط المائي . وهو يفرز من غدة خاصة كائنة في الزوائد الهدبية . ومؤلفه من طبقة مرشحة بشرية ، وهي التي تمتد من الشبكية الى الهدبية ، وقنواتها المفرغة (قناة المشرشرة ـ Canal Godronnee) « الموجودة بين الاربطة المعلقة للجسم البلوري » ، والحوض الخلفي . واما مستودعها فالحوض القدامي . كشفت هذه الغدة للخلط المائي من قبل مولار Muller ، في سنة (١٨٥٧) ووصفت من قبل (بوشه رون ـ Boucheron) في سنة (١٨٨٣) . وعلى الخصوص درسها (نيقاتي ـ Nicati) في سنة (١٨٩٠) . وليست مكانتها لكونها منحصرة في الحالة الفيزيولوجيه (اي الدورانية ـ الغذائية) للعين فحسب ، بل ايضاً لما ينشاء عنها من الامراض . كما ان الاستاذ

(بادال ـ Badal) اخبر واشاع حالة قارسينوم متولده من البشرة المرشحة للغدة المذكورة نفسها . والخلط المائي المذكور عدا عن انه ينفرز من الغده المتقدم ذكرها والمكونة من البشرة المغشية للزوائد الهدبية يرشح ايضاً من بشرة السطح الخلفي للقرنية .

واما تركيب الخلط المائي المذكور فيختلف عن المايع اللنفاوي الموجود في الجسم ، خصوصاً من حيث قلة الزلال Albunim فيه . وهو مايع رائق صاف سيال كثافته بدرجة (١٠٠٠٧) ويحتوي على مقدار قليل من المصل الزلالي ـ Sero - Globulin ، وعلى المصل الكروبني Serum Albunim وعلى اثر من السكر ، والبوله Urea . واما مدة تجدد الخلط المائي تنوف على الساعة في الحالة الطبيعية . ولكن حينما يكون الجوض القدامي مفتوحاً يتجدد ويمتلئ باسرع من ذلك مع تزايد كلي في كمية الزلال .

وعدة مواد تمر من الدم الى الخلط المائي بشكلها الاصلي . كمثل حديد كيانوس البوتاس ـ Ferrocyanur. de Potassium ، وايودور الكلس Iudure de Kalcium . بينما نجد مثلاً الزلال لا يمر منه الا مقدار جزئي بالشرائط الطبيعية . وإن فلوروسين ـ Fluoreaceine يكاد يتوقف تماماً من المرور . وكذلك (سيتوتوقسين ـ Cytotocsine يتوقف ايضاً . لكن الانتيقور Anticorps ، من النوع الملصق Agglutinin والمرسب ـ Precipitin يمر بمقدار كلي . وحبس بعض المواد وتوقيفها راجع لفعل انتخابي من قبل بشرة الزوائد الهدبية ويحتمل ايضاً من البشرة الداخلية للاوعية .

ووظيفة الخلط المائي بحقيقة الامر ليست عائدة لتغذي كرة العين بل انها منحصرة في تنظيم توتر داخل العين ومحافظته بقرار طبيعي ثابت . والخلط المائي المذكور بعد ان ينفرز ينصب اولاً في الحوض الخلفي . و يعبر و يمر من

الحدقة ويصل الحوض القدامي . ومنه يخرج ويفرغ بواسطة خلال الرباط الشعلي (اي خلال فونتانا) وينصب منها الى الضفيرة الوريدية (اي قناة شلهم) ومن هناك يدخل في الاوردة الهدبية القدامية ويختلط بالدوران العام .

تأثير الاعصاب في تغذي كرة العين .

تغذي العين تابع لتأثير نوعين من الاعصاب : الاول العصب السمباتي وخاصته تقبيض الاوعية — Vaso – Constricteure ، والثاني عصب التوأم الثلاثي وخاصته توسيع الاوعية Vaso Dilatateure . فاذا نبه وهيج الاول اي السمباتي الرقبي يتولد فقر دم في المنضمة وتوسع الحدقة ، واتساع الفرجة الجفنية ، وحصول حرارة موضعية وانخفاض التوتر الشريأني . واما حين قطعة فيحصل عكس الحالات السالفة ، لأنه تبقى العين تحت تأثير التوأم الثلاثي . فاذا نبه التوأم الثلاثي بخلاف الأول فانه يحدث توسع في الاوعية للغاية واحتقان كرة العين ، وتقبض الحدقة ، وفرط حساسية العين . وعندما ينقطع من حذاء عقدة غاسر — Gasser ، ومن قدامها تحدث تغيرات وخيمة . كمثل تقيح وذوبان العين بسبب عدم تغذيها . فاذاً عصب التوأم الثلاثي يملك خواص واوصافاً مغذية للعين لكن من اين تأتيه الالياف بتلك الخواص ؟ إن بالنظر الى ابحاث « برنارد — Bernard » الذي رغماً عن انة قطع التوأم الثلاثي بين عقدة غاسر والحدبة — Protuberance لم يعثر او يصادف اقل اختلال في تغذي العين بتاتاً . فيعتبر اليوم بان الأوصاف المغذية عائدة خاصة الى الجذر السفلي للتوأم الثلاثي ومع ذلك نرى الجذر السفلي يشمل على مقدار عظيم من الالياف السمباتية . فحينئذ وجود الخواص المغذية راجعة لمفاغمته مع السمباتي فقط . كما انه شوهد مريض فيه بطلان الحس التام في كل نواحي توأم الثلاثي بدون ادنى او اقل اختلالات غذائية في

SCANNED by Dr.Saad Al-Fattal

عيونه . واساساً نري الجراحين يستئصلون عقدة غاسسر بلا حدوث اختلال غذائي في العين اصلاً . لأنه يوجد امام عقدة غاسسر خيوط سمباتية تتصل بالتوأم الثلاثي .

توتر داخل العين . — ان جدران كرة العين هي غير قابلة للتمدد والتمطط . وكتلة المايعات التي تحتويها تتجدد وتتبدل على الدوام بشرط ان يكون توازن وتساوي ثابت ومنتظم للغاية بين الافراز والافراغ . الافرازات تكثر تحت اسباب المطابقة التي تعيق وتمنع الدوران الوريدي بواسطة تقلص العضلة الهدبية للمطابقة . وكذلك ضغط العضلة الحجاجية — Orbiculaeir ، وتقلص عضلات خارج العين يوجب ايضاً الموانع نفسها . وما عدا ذلك فان جميع الأسباب التي تزيد التوتر في الجملة الوعائية توجب موانع في الدوران الوريدي . اما الطرق الافراغية فانها تتلافى وتعوض تلك الزيادة في الافراز بفضل قابلية نفوذها ، وتحافظ التوتر بالدرجة الطبيعية التي تعادل لعمود زيبقي بأرتفاع (٢٥) ميلمتر . اذاً في الشرائط الفيزيولوجية الأعتيادية يعتري ويستولي بعض تحولات على سعة — Capacite كرة العين . ولكنها بدرجة قليلة وغير محسوسة حتى انه يمكن انكارها ويعتبر (التوتر العيني) دائماً وبوجه عام أنه ثابت وبقرار واحد .

انواع الغلوقوم . — حسب تفاوت السرعة في تزايد توتر العين ونظراً لاختلاف درجة التزايد وكيفية حصولها في المرض يقسم الغلوقوم الى نوعين : الأول النوع الأصلي (Primitif) إن لم يتولد من مرض عيني سابق . والثاني النوع التالي (Secondaire) ان تولد من مرض آخر في العين . اما الغلوقوم الأصلي فله شكلان : (١) الشكل

الالتهابي او الاحتقاني ، (٢) الشكل اللا التهابي او اللا أحتقـاني . ويسمى ايضاً بالغلوقوم البسيط . والشكل الالتهابي يقسم الى قسمين : (١) الغلوقوم الالتهابي الحاد (٢) الغلوقوم الالتهابي المزمن . فبين هؤلاء الأنواع نجدان (الغلوقوم البسيط — الخفي) له اهمية ومكانة اكثر من غيره بسبب كونه بصورة خفية ولكثرته ووجوده بنسبة ٤/١ اربعة اخماس من مجموع اصابات الغلوقوم في بلادنا . فلذلك انني سأحصر كلامي فيه فقط .

الغلوقوم البسيط ـ الخفي . — لا يعرف ويتحقق وجوده بملائم واعراض خارجية اصلاً . ويمكن ان يزداد وينمو لدرجة العمى التام بدون ان يشعر به المريض . خصوصاً اذا كان منحصراً في احدى العينين مع سلامة العين الثانية : واما تشخيص المرض وكشفه فيتوقف على معرفة التغيرات الحليمية والاختلالات الوظيفية .

التغيرات الحليمية. — تتحقق (بالمجهر العيني-Ophtalmoscope) وهي على ثلاثة انواع. الاول (النبض الشرياني-Pouls Arteriel): الذي يحدث وقت انبساط القلب Diastole . ومتصف بظهور تقطع فجائي في العمود الدموي ، الموجود في قسم الشريان الكائن على الحليمة . وان يكن يشاهد احياناً نبضان في الوريد ايضاً لكنه لا يدل على مرض بل هو فيزيولوجي وطبيعي . واما كيفية حصول النبض الشرياني فهو انه عقيب ازدياد الضغط الناشئ من تزايد التوتر في خارج الشريان لا يمكن للدم ان يتغلب على دفع جدار الوعاء المضغوط الا في وقت تقبض القلب — Dyastole . بينما وقت الانبساط يرتخي الشريان ويتكمش وحينئذ يظهر العمود الدموي الذي فيه متقطعاً .

Property of Dr.Saad Al-Fattal

الثاني ـ (تقعر ضمور الحليمة ـ Ezavation et atrephic de la papille):
ان حليمة العصب البصري بسبب كونها واقعة في اضعف قسم من الصلبة التي هي الصفيحة الغربالية ، فبأستمرار تأثيرا لضغط الداخلي ودوامه عليها تكون مدفوعة للخلف و يتحصل فيها تقعر . وذلك التقعر يعرف من (العكس ـ الأنعطافي) للاوعية الشبكية في حافة الحليمة . واما القسم الذي يعقب الانعطاف في الاوعية المذكورة فيغيب عن النظر ولا يشاهد . ولذلك ترى الاوعية كأنها منقطعة بعد الانعطاف . وحينما يكون التقعر كثيراً بالعمق فيمكن تقدير درجة العمق بمساحة المسافة القدامية الخلفية للعين بواسطة المجهر العيني بطريقة الفحص (الخيال المستقيم ـ Image droit) . فعندئذ ترى المسافة المذكورة زائدة (٢ ـ ٣) ميلمترات عن (٢٢) ميلمترات الذي هو الحد الطبيعي . ومع التقعر يكون لون الحليمة نفسها كامداً مما يدل على ضمورها تماماً. و بما ان مناظر واشكال التقعر الغلوقومي ، والتقعر الفيزيولوجي ، والتقعر في الضمور البسيط للعصب البصري نوعاً ما يشابه بعضها بعضاً يقتضي و ينبغي الوقوف على الاوصاف الفارقة لكل واحدة .

التقعر الفيزيولوجي ـ في وسط الحليمة يشاهد ناحية مدورة واسعة ومحدده بوضوح ، ولونها ابيض ناصع فهذه هي (التقعر الفيزيولوجي) . و بين حافة العصب البصري والتقعر المذكور يرى حول هذا التقعر شريط واسع من نفس النسج الحليمي الطبيعي ، والأوعية الشبكية ترى مارة من حافة الحليمة بلا تقطع وانفصال وتحول في استقامتها . سوى انها عند وصولها للتقعر تنعكف وتتقوس تقوساً خفيفاً و بعد ذلك تعبر الى غور التقعر ، ونهايات الأوعية المركزية اذ تظهر وتبان جلياً و بكل وضوح .

التقعر في الضمور البسيط للعصب البصري . — يرى العصب البصري بالشكل والحجم الطبيعيين، سوى ان لونه متحول الى ابيض سنجابي بصورة متجانسة في جميع امتداده ما عدا مدخل الأوعية حيث يكون ابيض ناصعاً . والأوعية تكون بقطرها (Calibre) الطبيعي في بادئ الأمر . واما في الأدوار المتقدمة فترفع وتدق الشرايين نسبةً لحالتها الأصلية . فأن لم يكن في اصل العصب البصري تقعر فيزيولوجي فحين ضموره لا يتكون فيه تقعر ما. لأنه عند ضمور الالياف العصبية يبقى ويستمر فيها النسج (العصبوني — Nevroglique) والنسج المنضمي وحتى انه يتزايد حجمه. ولذلك لا يوجد فرق استواء البة بين الشبكة والحليمة للعصب البصري ، اما ان كان فيه تقعر فيزيولوجي كبير فأنه حينئذٍ يبقى ذلك التقعر عقيب الضمور ، ولكن مهما كان جسيماً فأنه لا يصل لحد الحافة ابداً.

التقعر الغلوقومي — Excavation glocomateuse . — بعد أن يتألف يكون حافيّ اي واصل لحافة الحلمية تماماً . وحاشيته تكون قائمية ، وجدرانه تقريباً تكون (مخيمة — Sorplombant) على غور التقعر . والأوعية في حافة الحليمة وبمحل تماديها مع الشبكية تنعطف بغتةً لأجل ان تسير في التقعر ، او بتعبير آخر تنتهي بكلابة — بتقوس وتغيب عن النظر، وفي الأخير تتحد مع الأوعية المركزية .

يكون التقعر الغلوقومي كلياً وممتداً في كل جهة الى حد الحافة . ومن النادر ان يكون قسمياً . فأن كان قسمياً فأن الأوعية الشبكية تكون في ذلك القسم من التقعر منعطفة بغتةً بحذاء الحافة الحليمية ، واما في بقية اقسام الحليمة الأوعية الشبكية انعطاف او تحول فلا يرى في استقامتها . مع ذلك فأن وجود

انعطاف تام في حافة الحليمة ولو في وعاء واحد كاف لوضع تشخيص الغلوقوم .

اما لون الحلمة في بادىء الأمر فيكون سنجابياً ضارباً الى الحمرة او سنجابياً مخضراً . ويكون بعد ذلك ابيض لامعاً . وعقيب الضمور تظهر تغيرات في الأوعية، كمثل توسع الأوردة وتقبض الشرايين مع نبضانها . وفي الأدوار المتأخرة يحصل في جدران الأوعية ثخانة وانسداد قسمي ومفاغمة الأوردة في التقعر

الثالث من التغيرات في الحلمية (الهاله الحليمية) . — بعد التقعر يشاهد في محيط الحليمة حلقه بيضاء مصفرة ، مختلفة الاتساع تسمى (الهاله الغلوقومية) وهي تنشأ من ضمور المشيمية وضمور الطبقة البشرية الصباغية للشبكية حول الحليمة . ومع ذلك فأن هذه العلامة ليست خاصة بالغلوقوم فقط بل تصادف في الشيخوخة وفي ذوي التصلب الشرياني .

الاختلالات الوظيفية — Trouble fonctionnelle . — وهي على خمسة انواع : (١) تضيق سعة الرؤية — فالتضيق يقع على الخصوص في الجهة الأنفية قبل غيرها . والجهة الصدغية تبقى على حالها سالمة مدة طويلة . والسبب أن القسم الصدغي للحليمة التي ترى وتنظر الأشياء الكائنة في طرف الأنف اقل ثخناً واقل كثرة من الألياف العصبية . ولذلك يبدأ الضمور بادىء الامر من ذلك القسم الضعيف والنحيف . ولكنه بتقدم المرض وتزايده يحصل تضييق في الجهات الباقية ايضاً ، ومع التضييق في سعة الرؤية المحيطية يصادف في نفس السعة بضعة (بقع عمياء — Scotome) وهي تكون مطلقة او نسبية . وبعضاً مركزية وعلى الاكثر تكون في محيط المركز . وتكون نادراً بعيدة عن المركز . وان كان الغلوقوم ذا الجانبين فتكون تلك البقع نوعاً ما متناظرة . وعندئذ يمكن مزجها والتباسها مع (عطالة البصر السمي — Amblyopie toxique)

التي تحدث في المنهمكين بشرب الخمر والدخان وفي التسمم بالكنين والرصاص وغيره . واحياناً تكون العلتان موجودتين بآن واحد فعندئذ يصعب تفريقها .

(٢) تناقص الرؤية المركزية — وان بقيت الرؤية المركزية مدة طويلة سالمة ، ولكن مع تزايد التضييق في سعة الرؤية يعتريها ضعف ونقص تدريجياً الى حين العمي المطلق .

(٣) ضعف (حسن الالوان — Sens chromatique) . — حس الالوان يبقى و ينوم مدة طويلة بلا تغيير وتبدل فيه ان كان في الرؤية المركزية و في الرؤية المحيطية . لكنه حينما يحل و يستقر الضمور في العصب البصري يتولاه ضعف ونقص . ومع ذلك فان الالوان المختلفة تحافظ دائماً على الابعاد المجاورة نفسها وهي التي تكون في الحالة الطبيعية (بسعة الرؤية — Champ visuel) ، ليس بين بعضها البعض فقط بل بالنسبة الى اللون الابيض ايضاً . وحينئذ يكون تضييق حس الالوان وتناقصها في سعة الرؤية منتظماً ومتناسباً في جميع جهاتها اعتباراً من اللون الابيض لحد اللون الاخضر . بينما نرى بعكس ذلك امكان وقوع عمي او ضعف حس الالوان المطلق في ضمور العصب البصري مع المحافظة النسبية على الاحساس بالاشكال ورؤيتها .

(٤) ضعف (حس الضياء — Sens lumineuse) — في اول الامر يبقى حس الضياء سالماً مدة طويلة . ثم بتزايد الضغط الداخلي تتناقص حساسية الشبكية و ينشأ عندئذ ضعف حس الضياء ، وذلك بنسبة التضييق في سعة الرؤية . وحينما يشتد ضعف الحس الضيائي يصعب على المرضى السير ليلاً . فيكونون مصابين (بالعشا — Hemeralpie) .

(٥) تناقص قدرة المطابقة — Diminution d' amplitude d' accommodation .

بسبب الضغط الناشيء من فرط التوتر على العضلة الهدبية وتصلب الجسم البلوري مع ضياع مطاطية ، يتولد مد بصر شيخي غير مناسب مع العمر . مما يتطلب استعمال عدسات محدبة تزيد قوتها عن الحاجة. فهذا ايضاً دليل مبين وكاشف

Property of Dr.Saad Al-Fattal

التشخيص التفريقي ـ يلتبس الغلوقوم البسيط على الاكثر مع الساد في بلادنا . مع انه في الساد يجب التربص لحين تكامل كثافة الجسم البلوري ، وفي الغلوقوم بالعكس يقتضي التعجيل في المداخلة الجراحية او التداوي ، وإلا ينتج خراب في العين او عماها اخيراً . فكان (١٣١) من (٢٢٠) اصابه للغلوقوم عائدة لنوع الغلوقوم المطلق المنتهي بالعمى التام . وفي غالب الاحتمال كان ذلك المقدار من المصابين ضحية سوء التشخيص ظناً انهم مصابون بالساد . وتفريقها سهل للغاية .

ففي الساد توجد كثافة في الجسم البلوري تتحقق بواسطة معاينة (التنوير الجانبي ـ Eclairage lateral) والمعاينة بالمجهر العيني . ولا يوجد بتاتاً تبدل في سعة الرؤية ، ولا في حس الالوان . وثاني التباس يكون بين الغلوقوم البسيط و بين ضمور العصب البصري . لكن اوصاف التقعر واوصاف حس الالوان المتقدم ذكرها كافية لتفريقهما بصورة قطعية .

الانذار في الغلوقوم ـ الانذار يكاد يكون دائماً مظلماً ومشوكاً . ومن اجل ذلك وضع الاستاذ « لاقرانج » في الجمعية العينية الفرنساوية في سنة (١٩١٣) بعض دساتير لأجل استخراج حالة الانذار في الغلوقوم . وهي على عدة اقسام :

تفحص بكل دقة . لأن (الحالة العصبية — Nervosisme) والمصابين بها تكون جملتهم السمباتية المحركة للأوعية (Vaso Motare) مستعده لتوليد هجمات احتقانيـة بوقوع اقل تنبـه وتهيج . ولذلك نرى ان المصابين تصلب الأوعية وتغيراتها ؛ ومن جملتها الأوعية العينية ، اذا كانوا بالوقت نفسه عصبين يمكن ظهور تزايد فى توتر المقلة فجائياً تحت تأثير انفعـال شديد بالنسبة .

الثاني منهـا تختص بالعـلائم المرئيـة — Objective . — فبواسطـة مقيـاس التوتر — Tenometre نقف على تحولات التوتر فى العين . فأن حصول تزايد فجائي شديد مع قلة عمق الحوض القدامي يعد كدليل مشؤم . و (لاوفنج) يحذر ويجلب نظر الأنتباه الى لون الحلمية اذا كان كدرتها غير مناسبة مع عمق التقعر ومع قطر الشرايين . ، والى حالة المنضمة فى محيط القرنية وذلك لأنه اذا كانت مع التصاقها الشديد اليها تتمزق بسهولة حين مسكها بالملقط بسبب هشاشتها وقابلية تفتتها ، والى صغر جسامة القرنية . فجميع ذلك يسيء الانذار .

الثـالث منهـا تخص بالعلائم المروية — Subjective . — ان الأشخاص الذين يظهرون اضطراباً كثيراً والمشتكين من افراط اختطاف النظر وظلامه Obnublisme ومن العشاوة ، والتناقص فى حس الضياء ، مع وجود ذلك في جميـع انواع الغلوكوم ، يستدل بهـا عصبيشة المصـاب Nervosisme ويكون الأنذار سيئاً . لكن القاعدة الأساسيـة ان ينظر ويستند الى حالة سعة الرؤية من حيث تضييقها في الجهة الأنفية ووجود بقع عمياء — Scotom في محيط مركز الرؤية . وبالدرجة الثانية يأتي التضيق العلوي ثم الأسفلي من سعة الرؤية . فبقدر مـا يكون التضيق

قليلاً يكون الأنذار حسناً ومساعداً . اما ان كان التضيق زائداً وقريباً من نقطة التثبيت فى (مقياس سعة الرؤية — Perimetre) يكون الأنذار وخيماً للغاية . والبقع العمياء — Sco'om فى محيط المركز تدل ايضاً على وجود خلال Lacune فى العصب البصري وفى محيط (اللطخة الصفراء — Maculus) مما تهدء قناء وظائفها وتلاشيها . ويستنتج من ذلك سوء سير المرض . وحصول نقص فجائي فى (حس الألوان — Sens de coulr يدل على ذلك ايضاً .

بيان احصاء امراض باطن العين السنوى

عن سنة ١٩٢٤

أنواع المرض	بسيط	مطلق	تالى	التهابى	مجموع
امراض الدورانية — الغلوقوم	٤٥	١٣١	٣٩	٥	٢٢٠
» جسم البللورى					٣٢٦
» القزحية والهدبية					٣٤
» المشيمية					١٠
» العصب البصرى					١٨
» الشبكية					٣
امراض خارج العين السنوى		٥٧٨٩			٦١١
» باطنى »		٠٦١١			
		٦٤٠٠			

مجموع الغلوقوم بنسبة نحو ٤ من مجموع امراض العين السنوى . ومجموع الغلوقوم البسيط والمطلق بنسبة ٤ — ٥ اربعة اخماس من مجموع مرض الغلوقوم .

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.8

المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 7

ورقة بحثية

مناجم الزمرد في التراث العربي الإسلامي: نصوص مُهملة في التدوين الحديث لتاريخ التعدين

خلاف الغالبي[1]*

[1] جامعة المولى إسماعيل، مكناس، المغرب

Email: k.elghalbi@umi.ac.ma, elghalbi@hotmail.fr *

الملخص

تتجاهل العديد من الدراسات الحديثة في مجال تأريخ التعدين، حقيقة الانتشار الواسع للمناجم في البلاد الإسلامية، والتي تزعم بعضها (جولياني Giuliani، هوزي Heuzé ...)، أن استغلال مناجم الزمرد في صعيد مصر قد توقف في الفترة الغالية-الرومانية وقبل العصر الإسلامي.

لقد اتفق العديد من المؤلفين والجغرافيين والرحالة والمؤرخين المسلمين، كالمسعودي والبيروني والإدريسي والزهري والمقريزي...، على تواجد الزمرد خصوصا في صعيد مصر وكذا في بعض المناطق الهندية-الإيرانية. كما أكدوا على استغلال هذه المناجم في الفترة الإسلامية.

لقد تضمنت النصوص التراثية التي بلغتنا، إضافة إلى المعطيات التاريخية، إفادات مهمة جدا تتعلق بالتحديد المكاني لمناجم الزمرد وتنظيم العمل فيها والتدبير الاقتصادي لها وكيفية معالجة هذا المعدن النفيس والصخور المحتضنة له والعلامات الدالة عليه أو التي تشير إلى قرب الوصول إليه...، مما يدل على الخبرة العالية التي توفرت للمنقبين والمُعَدنين في مجال التنقيب عن الزمرد واستخراجه وللجواهريين في مجال معالجته واستغلاله، خلال الفترة الإسلامية.

الكلمات المفتاحية: الزمرد، تاريخ التعدين، الحضارة الإسلامية.

Title

Emerald mines in the Arab Islamic scientific heritage: neglected texts in modern historiography of mining

Khallaf El Ghalbi[1]

[1] Department of Geography, Moulay Ismail University of Meknes, Morocco

Abstract

Many recent studies about mining history ignore the widespread use of mines in Islamic countries, some of those studies like Giuliani and Heuzé claim that the exploitation of emerald mines in Upper Egypt stopped in the Gaul-Roman period and before the Islamic era. However, many Muslim authors, geographers, travelers, and historians (such as Al-Masudi, Al-Biruni, Al-Idrisi, Al-Zuhri and Al-Maqrizi) have agreed on the presence of emerald especially in Upper Egypt and in some Indo-Iranian regions. They also emphasized the exploitation of these mines during the Islamic period. The heritage texts that has reached us, in addition to historical data, include very important statements related to the localisation of emerald mines, the organizing of work and economic management during the mining process, how to treat this precious metal, the rocks incubating it, and the indications identifying reaching the deposits. All of this implies the high experience of the prospectors and miners in emerald mining and the jewelers in processing it during the Islamic period.

Keywords: Emerald, mining history, Islamic civilization

Received 20 February 2022; accepted 20 June 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: El Ghalbi K. Emerald mines in the Arab Islamic scientific heritage: neglected texts in modern historiography of mining. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.8. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.8

1- مقدمة

تؤكد المصادر التراثية المختلفة أن المناجم كانت منتشرة انتشارًا واسعًا ومتوافرة بكثافة في كافة ربوع العالم الإسلامي؛ الأمر الذي يكشف عن المكانة البارزة التي كانت تحتلها المعادن، بوصفها وجهًا من وجوه العطاء الحضاري الإسلامي على المستوى الصناعي؛ غير أن كثيرًا من الدراسات الحديثة التي تُعنى بتاريخ تعدين الزمرد، تضرب صفحًا عن الخبرة العربية الإسلامية في هذا المجال، حيث يؤكد جولياني في العديد من الأبحاث والدراسات التي نشرها منفردًا أو بالاشتراك مع باحثين آخرين، خلال العشرين سنة الأخيرة، أن مناجم الزمرد في صعيد مصر قد بدأت في الفترة الإغريقية الرومانية (في القرن الثالث قبل الميلاد)، حيث استخرج الفراعنة معدن الزمرد في الفترة (3000-1500 ق.م.)[1]، وأن نشاطها ظل قائمًا خلال الفترة الغالية – الرومانية (Gallo-Romaine)[2]، ثم توقّف قبل الفترة الإسلامية، وهو ما أكدته هوزي في دراستها الاستقصائية، التي حاولت أن تضمّنها خلاصات جل الأعمال التي اعتنت بموضوع الزمرد[3].

يهدف هذا البحث إلى الكشف عن بعض أوجه النشاط الاقتصادي المرتبط باستخراج معدن الزمرد في مصر بوجه خاص، خلال الفترة الإسلامية، والتي غفلت عنها الكتابات الحديثة التي اعتنت بالتأريخ للنشاط المنجمي الخاص باستخراج هذا المعدن النفيس واستغلاله على المستوى العالمي.

2- البيريل والزمرد

يعتبر الزمرد واحًدا من المجوهرات النفيسة والأحجار الكريمة العالية الرتبة، وقد كان محل تقدير الملوك والسلاطين والحكام والأمراء، الذين كانوا حريصين على اقتنائه والتزين به. ويتكون الزمرد من سيليكات البريليوم والألومنيوم. ويلخص الجدول (1) أهم خصائصه.

جدول 1: أهم الخصائص المعتمدة في تحديد هوية معدن الزمرد.

خصائص عامة		الخصائص البصرية	
الصيغة الكيميائية الخام	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$	**مؤشر الانكسار**	N_e=1.560 à 1.596 N_o= 1.566 à 1.602
اللون	أخضر	**التغير اللوني**	أخضر-أزرق/ أصفر-أخضر
نظام التبلور	سداسي بهيئة منشورية	**الخصائص الكيميائية**	
انفصال	انفصال قاعدي ضعيف	**الكثافة**	2.9-2.7
مكسر	محاري (دائري)	**الانصهارية**	منصهر
الصلادة	8.0-7.5	**الذوبان**	يذوب في حمض الهيدروفلوريك (HF)
مخدش	أبيض	**خصائص فيزيائية**	
البريق	زجاجي	**المغناطيسية**	بدون
	.....	**الإشعاع الذري**	بدون

وهو معدن شفاف لا لون له عندما يكون نقيًا تمامًا، لكن يوجد منه ضربان يرقيان إلى المرتبة العليا للأحجار الكريمة وهما: البريل الأخضر أو الزمرد (الإيمرالد Emerald) (الشكل 1)؛ والبريل الأزرق (الأكوامارين Aquamarine) (الشكل 2)، إضافة إلى نوعين آخرين هما: البريل الذهبي والقرمزي (المورغانيت Morganite) (الشكل 3).

شكل 1. البريل الأخضر أو الزمرد (الإيمرالد Emerald).
https://bit.ly/3qtN9ZF

شكل 2. البريل الأزرق (الأكوامارين Aquamarine).
https://bit.ly/3qzmRVG

شكل 3. البريل القرمزي (المورغانيت Morganite).
https://bit.ly/3d0gdoB

3- التأريخ لاستخراج الزمرد عبر العصور

بالرجوع إلى مجموعة من أهم المقالات والمنشورات العلمية الصادرة خلال العقود الثلاثة الأخيرة، والتي حاولت تتبّع مصادر قطع مجوهرات الزمرد القديمة ذات الجودة الاستثنائية، يمكن تقسيم استغلال مناجم الزمرد إلى ثلاث مراحل تاريخية كالآتي:[4]

- المرحلة الأولى (من العهود القديمة إلى تحديد الإسبان للمناجم الكولومبية في القرن السادس عشر الميلادي): إذ كانت أحجار الزمرد نادرة، وكانت البداية باستغلال المناجم في مصر الفرعونية على عهد البطالمة (305-30 ق.م.). ومع مصر الفرعونية والرومان، بدأت تجارة الزمرد ثم بدأ استغلال السلتيين لمناجم هابشتال في النمسا. واعتمادًا على الوثائق التاريخية، يعتقد أن مصر والنمسا قد شكلتا المصدرين الرئيسين للزمرد حتى عام 1545، حين بدأ الإسبان في استغلال منجم كيفور (Chivor) بكولومبيا.
- المرحلة الثانية (من القرن السادس عشر حتى نهاية القرن التاسع عشر): قام خلالها الإسبان باستغلال منجم كيفور (1545) ومنجم موزو (1594). ونتيجة لجودة الزمرد الكولومبي العالية جدًا، فقد عرفت تجارته تغيرًا جذريًا على المستوى العالمي وأغرقت هذه الجواهر البديعة أسواق العالم.
- المرحلة الأخيرة (منذ بداية القرن العشرين): وتوافق هذه الفترة استكشاف أغلب المناجم التي يستخرج منها معدن الزمرد حاليًا، على الرغم من أن إشارات إلى استغلال مناجم الزمرد الروسي كانت قُبيل هذه الفترة. لكن الاستغلال المعتبر قد بدأ مع اكتشاف مناجم جبال الأورال بعد سنة 1830. وقد دشّن استغلال زمرد هذه الجبال فترة القرن العشرين، حين استُكشفت مناجم الزمرد في البرازيل وأفغانستان وباكستان وأفريقيا.

ويبين الشكل (4) أهم المصادر الحالية للزمرد على المستوى العالمي، والمتمثلة في كولومبيا (المنتج الأكبر للزمرد بأكثر من نصف الإنتاج العالمي) والبرازيل وزامبيا وروسيا وزيمبابوي ومدغشقر وباكستان وأفغانستان وأستراليا.

شكل 4: التوزيع العالمي لأهم مناجم استخراج الزمرد (REYS. Au, 2015)[5].
Sources : Shigley et al. (2010) and associated bibliography.

في حين يشير الجدول (2) إلى نسبة مساهمة هذه المصادر في الإنتاج العالمي لهذا الحجر الكريم.

جدول 2: الدول المنتجة لمعدن الزمرد على المستوى العالمي ونسب إنتاجها (إحصائيات وزارة الطاقة والمعادن الكولومبية لسنة 2000).[6]

البلد	المناجم	نسبة الإنتاج العالمية (%)
كولومبيا	تشيفور، كوسكويز، بينياس بلانكاس، موزو	60
زامبيا	موفوليرا، كوفوبو، ميكو	15
البرازيل	سانتا تيريزينيا دي غوياس، بيلمونت، كارنايبا	12
روسيا	الأورال	4
زيمبابوي	ساندواوانا	3
مدغشقر	أنكاديلالانا	3
دول أخرى: باكستان، أفغانستان، أستراليا، تنزانيا، النمسا، النرويج، الولايات المتحدة الأميركية	مينغاورا في باكستان، وادي البنشير في أفغانستان، هابشتال في النمسا	3

4- نصوص تراثية عن الزمرد المصري

بدأ استخراج الزمرد من مناجم صعيد مصر على أقل تقدير في القرن الثالث قبل الميلاد. وقد وصف المعدّنون العرب أربعة أنواع من الزمرد، نادرًا ما تكون منقوشة تحمل نقوش الحكام البطالمة. وقد ظل الزمرد المصري يغذي أوروبا والشرق الأدنى والهند حتى القرن الثالث عشر الميلادي، ثم نضبت مناجم مصر.[7]

لقد أفصحت الحفريات التي أُجريت على آثار أغلب الحضارات القديمة الكبرى، عن وجود حلي وأشياء مرصعة بالزمرد. وأشارت ميشيل هوزي في دراستها الاستقرائية إلى أن تاريخ الحلي القديمة مجهول في الغالب، وأن الكتابات التاريخية التي تحدد المواقع الجغرافية لمناجم الزمرد نادرة.[8] وقد طوّر الباحثون طريقة تعتمد على قياس نسبة الأكسجين المشعّ لتحديد مناجم الزمرد الحالية وتحديد مصادر (مناجم) الزمرد القديمة على وجه الخصوص، ولا سيما تلك العائدة إلى ما قبل القرن الثالث عشر الميلادي الواردة في النصوص التاريخية لثيوفراتس وبلينوس الأكبر.[9]

4-1 مناجم الزمرد في مصر

يذكر المسعودي[10] أن حجر الزمرد يوجد في الصعيد الأعلى من أعمال مدينة قفط، وأنه يستخرج منها بالحفر، حيث يقتلع من هذا المكان أربعة أنواع، تتفاوت من حيث جودتها وثمنها، وهي مرتّبة بحسب درجة الجودة تنازليًا كالآتي:

- النوع الأول: وهو الزمرد المر، شديد الخضرة كثير الماء غير كدر ولا ضارب إلى السواد.
- النوع الثاني: ويسمى البحري، تشبه خضرته خضرة النوع الأول.
- النوع الثالث: وهو المغربي.
- النوع الرابع: ويسمى الأصم، قليل الماء والخضرة.

ويذكر أيضًا أنّ نوعًا اشتُهر بالمكي، يُحمل من أرض الهند من بلاد سندان، يلحق بهذه الأنواع الأربعة من حيث النور والخضرة والشعاع، بيد أنه

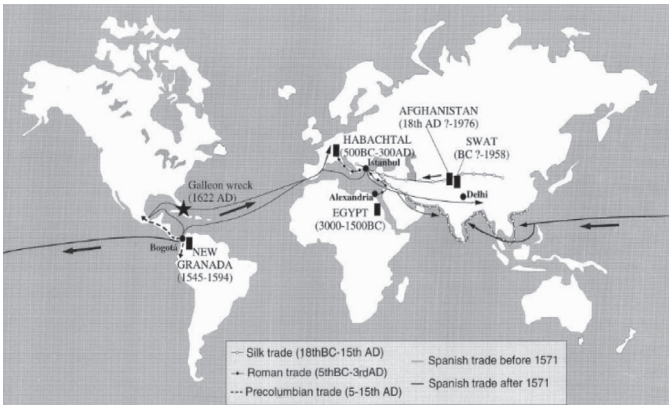
أصلب منها وأثقل، لكن لا يميِّز بينه وبين الأصناف الأربعة السالفة الذكر إلا أهلُ الدراية والفطنة، وأصحابُ الخبرة والمهارة في هذا النوع من الجواهر.

ويؤكد البيروني أن الزمرد يوجد في مصر وصعيدها فحسب، حيث لا تتجاوز أماكن استخراجه «حدود مصر والواحات وجبل المقطم وأرض البجة».[11] وقد ذهب الجاحظ، بحسب ما نقله المقريزي، إلى أن مناجم الزمرد تنحصر في صعيد مصر ولا توجد في الدنيا في موضع غيره.[12] وعلى ذلك نص الإدريسي، حين ذكر أن مصدر معدن الزمرد بجبل جنوب أسوان لا يوجد في شيء من جميع الأرض إلا ما كان في مناجم ذلك الجبل،[13] وما كان في جبل من جبال جزيرة الرانج، إحدى جزر الهند الموجودة في الجزء العاشر من الإقليم الأول.[14] في حين أشار الزهري إلى وجود أغلى أحجار الزمرد وأطيبها في جبال أسوان.[15]

ويوضح ما سبق الدراية الكبيرة للبيروني والجاحظ والمسعودي والإدريسي والزهري وغيرهم، بمصادر معدن الزمرد على مستوى العالم المعروف في أزمنتهم، حيث كان معظم الزمرد يستخرج من مصر ومن تلك المناطق الهندية - الإيرانية المعروفة اليوم بأفغانستان.[16]

ويشير جيولياني وزملاؤه[17] إلى أن مناجم صعيد مصر والنمسا ظلت المصادر الوحيدة لمعدن الزمرد في العالم القديم حتى عام 1545 (الشكل 5)، حين اكتشف الإسبان مناجم الزمرد في كولومبيا (أميركا اللاتينية) وشرعوا في استغلالها؛ أما مناجم الزمرد الآسيوية فلم تُكتشف رسميًا إلا في القرن العشرين.

وفي وصف مناجم الزمرد الموجودة في نواحي قفط وقوص من صعيد مصر، يقول المقريزي: «ومعدن الزمرد في البر المتصل بأسوان، وكان له ديوان فيه شهود وكتاب ويُنفق على العمال به وتُنال لهم المؤن لحفره واستخراج الزمرد منه. ويُحمل إلى الفسطاط ومنه يحمل إلى البلاد، وقد كان الناس يسيرون من قوص إلى معدن الزمرد في ثمانية أيام بالسَّير المعتدل، وكانت البجاه تنزل حوله وقريبًا منه لأجل القيام بخَفْرِه وحفظه. وهذا المعدن في الجبل الآخذ على شرقي النيل في بحريّ قطعة عظيمة من هذا الجبل تسمى اقرشندة، وليس هناك من الجبال ما هو أعلى منها وهو منقطع من البر.. وهذا المعدن في صدر مفازة طويلة في حجر أبيض يستخرج منه الزمرد، وهذا الحجر الأبيض ثلاثة أنواع: أحدها يقال له طلق كافوري؛ والثاني يقال له طلق فضي؛ والثالث يقال له حجر جرويّ. ويُضرب في هذه الحجارة حتى يخرج الزمرد وهو كالغريق فيه. وأنواعه الرياني، وهو أقل من القليل لا يخرج إلا في النادر، وإذا استخرج أُلقي في الزيت الحار، ثم يُحط في قطن ويُصَرُّ ذلك القطن في خِرَق خام أو نحوها. وكان الاحتراز على هذا المعدن كثيرًا جدًا، ويُفتَّش الفعلة عند الخروج منه كل يوم، حتى تُفتش عوراتهم؛ ومع ذلك فيختلسون منه بصناعات لهم في ذلك. ولم يزل هذا المعدن يُستخرج منه الزمرد، إلى أن أبطل العمل منه الوزير الصاحب علم الدين عبد الله بن زنبور، في أيام الملك الناصر حسن بن قلاوون، في سنة بضع وستين وسبعمائة».[18]



شكل 5: طرق تجارة الزمرد التاريخية الرئيسة الخمسة.[19]

مُثلت رواسب الزمرد المستغلة تاريخيًا بمستطيلات سوداء مع توضيح تواريخ استغلالها المفترضة بين قوسين. توضح قيم $\delta^{18}O$ الحالية للزمرد، أن طريق الحرير كان يُستخدم لتجارة الزمرد من مصر وباكستان وهابشتال بين آسيا وأوروبا.

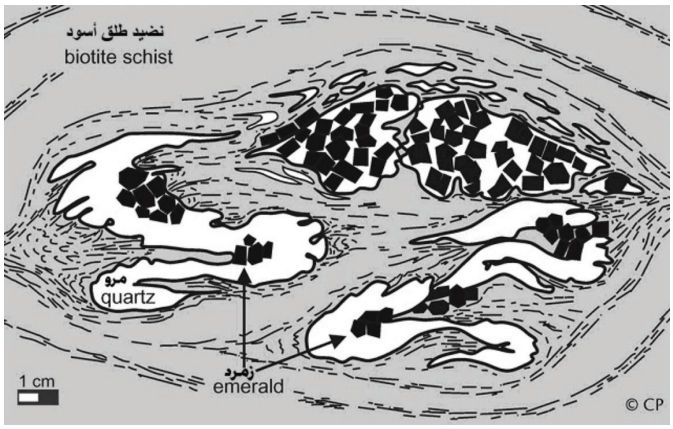
ويتضمن النص السابق، على قِصره، عدة إشارات بالغة الأهمية، تتعلق بما يلي:

- **موقع المنجم:** فقد تطرق إلى تحديد موقع المنجم، في أرض من أراضي قبيلة البجة، في البر المتصل بأسوان شرق النيل، في أعلى جبل من جبال المنطقة، على مسيرة ثمانية أيام بالسَّير المعتدل من مدينة قوص.
- **تنظيم العمل في المنجم:** فلهذا المنجم ديوان ودفاتر وشهود، وكتّاب يدونون عددًا من المعلومات والمعطيات المتعلقة به، وهو منجم محروس من طرف قبيلة البُجَّة، التي تقيم حوله وتقوم بحراسته (تخفره) وحمايته (تحفظه)، مما يمكن أن يحدق به من أخطار من خارج؛ ويوجد فيه حراس أيضًا، مكلفون بمراقبة العمال وتفتيشهم يوميًا عند خروجهم من المنجم بعد انتهائهم من العمل بداخله، مراقبة شديدة، حتى لا يتمكنوا من سرقة شيء مما يستخرجونه من المنجم.
- **التدبير الاقتصادي للمنجم وعن مركز تجارة الزمرد:** حيث يتحدث النص عن استثمار قسط من العائد المالي في الإنفاق على العمال المستخدمين في استخراج المعدن من المنجم، بُغية تأمين مؤونتهم؛ ويشير إلى أن المعادن التي تُستخرج منه تُنقل إلى مدينة الفسطاط، المركز التجاري العالمي، الذي منه يُصدر الزمرد، بعد ذلك، إلى البلاد الأخرى. وقد أكد الشريف الإدريسي أن الزمرد المُستخرج من جبل جنوب أسوان، كان «يُتجهَّز به إلى سائر البلاد».[20]
- **وصف الصخور التي تحتضنه:** وهي عبارة عن ثلاثة أنواع من الصخور البيضاء، ولنا عودة للتفصيل أكثر في هذه النقطة لاحقًا.
- **كيفية معالجة النوع الجيد منه:** حيث يلقى في الزيت الحار بعد استخراجه ثم يُحط في قطن ويُصرّ. وقد أشار البيروني – نقلًا عن الأخوين الرازيين - إلى أن مستنبطي الزمرد إذا شكوا في حجر وغلب على ظنهم أنه يحتوي على أحجار الزمرد، «**طلوه بالزيت**» فإن كان فيه شيء منه ظهر فيه عروق خضر».[21]
- **معلومات تاريخية:** حيث أفاد النص أن العمل قد توقف في هذا المنجم، على عهد الملك الناصر حسن بن قلاوون. وقد كان إغلاقه في ستينيات القرن الثامن الهجري (بضع وستين وسبعمائة)، بأمر من الوزير الصاحب علم الدين عبد الله بن زنبور. ويمكن أن يستفاد من ذلك أن هذا المنجم كان منجمًا نظاميًا، تُشرف عليه السلطة القائمة في مصر آنذاك، وهو ما يمكن أن يفسر طبيعة التنظيم والحراسة التي كان يخضع لها هذا المنجم.

2-4 الخبرة المنجمية في استخراج الزمرد: الزمرد وما يدل عليه

يقول التيفاشي: «معدن الزمرد الذي يؤتى به منه في التخوم بين بلاد مصر والسودان خلف أسوان، يوجد في جبال هناك ممتد كالجسر فيه معادن تُحفر فيُخرج منها الزمرد قطعًا كالحصباء، منبثة في تراب المعدن. وأخبرني ابن منير، وهو رأس المعدّنين بمصر المكلف من قبل السلطان بهذا المعدن، أن أول ما يظهر من معدن الزمرد معدن يسمونه الطلق، وهو حجارة سوداء إذا أُحمي عليها في النار خرجت مرقيشيا ذهبية. قال: ثم يحفر فيجد طلقًا هشًا فيه ما فيه من الزمرد في تربة حمراء لينة مشتملة عليه. وربما أصيب العرق متصلًا فيقطع وهو جيده، وأما صغيره فإنه يصاب في التراب بالنخل، إنهم ينخلون التراب ثم يوجد خلاله فيصون ويغسل كما يغسل تراب الفضة فيوجد فيه الحجر بعد الحجر، يوجد بعضه عليه تربة سوداء كالكحل إلا أنه صغير كالخردل أو أكبر قليلًا، أرانيه هذا المعدني. وما وجد من الزمرد في التراب فهو **القص** وما قطع منه من العرق فهو **القصيب** في اصطلاح الجوهريين والمعدنيين معًا، وهو أعتقه وأخلصه كما ذكرنا».[22]

في هذا النص إشارة واضحة إلى معلومات قيّمة تتعلق بالطلائع المبشرة بوجود معدن الزمرد، حيث الحديث عن المؤشرات المنجمية المتمثلة في صخور نضيد الطلق الأسود (المؤشر الأول) وصخور الطلق الهش (المؤشر الثاني)، وهي معلومات نقلها التيفاشي عن مُعدِّن خبير بمعدن الزمرد، عالم بالإفادات الميدانية المتعلقة به، تمثّل وصفًا دقيقًا يتوافق مع المعطيات الجيولوجية الحديثة، التي تفيد أن الزمرد يوجد في صخور النضيد الطلقي (Micaschistes)، التي تكون بعضها هشة تتفتت بسهولة إلى تراب مشتمل على قطع من الزمرد (**القص**)، وأن قطعه الكبيرة الجيدة الكاملة النمو (**القصيب**)، موجودة في عروق المرو (Quartz) المنضوية في صخور نضيد الطلق الأسود (الشكل 6) أو المنضوية في صخور نضيد الفلوغوبيت (الشكل 7) أو في عروق صخور البيغماتيت (Pegmatites) الغليظة البلورات، التي تقطع صخور النضيد،[23] حيث يتركز معدن الزمرد في مناطق التّماس بين صخرة نضيد الطلق الأسود وعروق البيغماتيت التي تقطعها (الشكل 8).



شكل 6: رسم تخطيطي لعدسات المرو مثنية بقوة، في صخر نضيد الطلق الأسود بمنطقة سقاية، تحمل معدن الزمرد.[24]

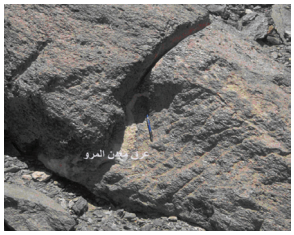
* يوجد الزمرد (باللون الأسود) داخل أو على حدود عدسات المرو (باللون الأبيض).

ويؤكد حديث المقريزي عن مناجم الزمرد ناحية قفط وقوص، أن الزمرد يوجد على شكل عروق منضوية داخل صخور النضيد الطلقي البيضاء، حيث يقول: «وهذا المعدن في صدر مفازة طويلة **في حجر أبيض يستخرج منه الزمرد**، وهذا الحجر الأبيض ثلاثة أنواع: أحدها يقال له **طلق كافوري**؛ والثاني يقال له **طلق فضي**؛ والثالث يقال له **حجر جرويّ**. ويُضرب في هذه الحجارة **حتى يخرج الزمرد وهو كالغريق فيه**. وأنواعه الرياني، وهو أقل من القليل لا يخرج إلا في النادر، وإذا استخرج أُلقي في الزيت الحار، ثم يُحط في قطن ويُصرُّ ذلك القطن في خرق خام أو نحوها».[25]

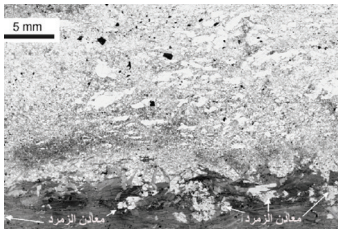
وقد أثبت فريدريك كايو أن عينة الزمرد (MNHN) رقم 121-62 التي استخرجت في القرن التاسع عشر الميلادي من منطقة جبل زبارة على بعد 40 مرحلة جنوب قوص، قد كانت منضوية ضمن عرق مرو يقطع صخرة نضيد طلق أبيض.[26]

وقد نقل البيروني عن الأخوين الرازيين أيضًا، وجود معدن الزمرد على شكل عروق خضراء يكشف عنها طلاء الصخور، المشكوك في احتوائها عليه، بالزيت.[27]

وفي موضع آخر، يؤكد المقريزي أن الزمرد يكون مغلّفًا، مغطىً بغشاء يتكون من صخور مختلفة عنه، في ألوانها وفي طبيعتها، حيث يقول في وصف زمرد أحد مناجم صحراء قوص في صعيد مصر: إنه «يوجد في مغاير بعيدة، يُدخل إليها بالمصابيح وبحبال يُستدل بها على الرجوع خوف الضلال، ويُحفر عليه بالمعاول، فيوجد في وسط الحجارة وحوله غشيم، دونه في الصبغ والجوهر».[28]



شكل 7: عروق المرو في صخر نضيد الفلوغوبيت مع آثار التعدين القديمة.[29]



شكل 8: صورة مجهرية لمعدن الزمرد المتبلور على طول سطح التماس بين نضيد الطلق الأسود والبيغماتيت البورفيري المتحول.[30]

وقد وصف الدمشقي الغشاء المحيط ببعض أنواع الزمرد بكونه شبيهًا بالملح الأبيض، حيث يقول: «وأصناف الزمرد أربعة، فالذبابي أغلاها قدرًا وأقواها خاصة وأجودها، ولونه أخضر صادق الخضرة حسن المائية فيه لمعان وله رونق.. ثم الريحاني ولونه كلون الريحان الأخضر ثم السلقي بلون السلق ثم المجزع في لونه خضرة مختلفة ثم الشفاف ثم الصابوني الشبيه بخضرة صابون مصر وهذا النوع أصم وهو أرداها لا قيمة له.. ومعدنه بأرض خيبر وبوادي القرى وبأرض البجة والوَضَح ومعادنه جبال خضر وترابه شبيه بالحناء وخضرة حجارتها موشاة بسواد وبياض ومجزعة كذلك، وله معدن بأرض هدية من الحجاز.. وربما أصيب من الزمرد العرق للحافر الذي يحفر عليه في معدنه فيتبعه بالحفر فينقطع، فالذي يوجد على القطعة منه تربة كالكحل الأسود الشديد السواد وهو أشد خضرة وأكثر مائية، ويوجد بعضها وعليه غشاوة شبيهة بالملح الأبيض وهو قليل الخضرة كثير المائية، وأما السلقي والصابوني فيوجدان ظاهرين بغير تربة عليهما ولا أغشية».[31]

وفي هذا النص وغيره (المسعودي والبيروني مثلًا)، تنصيص على أن الزمرد أربعة أنواع تختلف باختلاف ألوانها وطبيعة خُضرتها ودرجة مائيتها، وأن منها ما يحيط به غشاء ومنها ما تعاقبت فيها طبقات متباينة الألوان (مجزع)، وهو ما يتوافق إجمالًا مع ما توصلت إليه دراسة كروندمان وموريتاني، حول زمرد مناطق زبارة ووادي سقاية وأم قابو، بصعيد مصر (جنوب الصحراء الشرقية المصرية)، التي خلصت إلى إمكان التمييز بين ثلاثة أجيال من الزمرد:[32]

- الجيل الأقدم (النوع الأول): وهو عبارة عن زمرد ضعيف التلوين، يوجد على شكل بلورات منفردة أو على شكل أنوية (cores) يحيط بها طوقان (rims) من الزمرد الخفيف إلى الشديد الخضرة.
- النوع الثاني: وهو زمرد خفيف الخضرة على شكل بلورات منفردة متجانسة أو على شكل طوق (rim) يحيط بزمرد ضعيف التلوين، وكذا على شكل طوق داخلي خفيف الخضرة يتوسط نواة ضعيفة التلوين وطوق خارجي شديد الخضرة.
- النوع الثالث: وهو زمرد أخضر إلى شديد الخضرة يظهر على شكل بلورات «وحيدة» (single) من دون نطاقات (without zoning) أو على شكل طوق خارجي يحيط بنواة ضعيفة التلوين من النوع الأول من الزمرد.

يدل مثلُ هذا الحديث عن تحديد أماكن وجود معدن الزمرد وأنواعه وطرق استكشافه واستخراجه ووصف الصخور المجاورة له أو المحتضنة إياه وكيفية معالجته (الزمرد الرياني مثلًا)، دلالة واضحة على الخبرة العالية في مجال البحث والتنقيب واستخراج معدن الزمرد التي توافرت للمنقبين في مصر منذ قرون عدة، وقد استمرت هذه الخبرة المصرية وتطورت في العهد الإسلامي الذي مثّلت خلاله مصر أهم مصدر للزمرد – إن لم تكن مصدره الوحيد - على المستوى العالمي، إلى أن أغلقت مناجم الزمرد بأمر من السلطان في النصف الثاني من القرن الثامن الهجري.

5- الخاتمة

إذا كان تأريخ علم التعدين في البلاد الإسلامية لم ينل حظه من البحث والدرس كما يقول أحمد جبار[33] وزهير الباب وغيرهما، فلا أقل من التأكيد – بخصوص انتقال المعرفة الإسلامية إلى أوروبا في مجال التعدين - على أن المعلومات المتعلقة باستخراج المعادن في أوروبا في بداية القرون الوسطى كانت نادرة جدًا. كما أن الوصول إلى مثل هذه المعلومات، حتى من المصادر التي اهتمت ظاهريًا بهذا الموضوع، أمر صعب جدًا؛ لأن التراث المتوافر في مجال التعدين في هذه الفترة، إما أن أصله كان عربيًا، أو أنه كان يستند جزئيًا إلى أصول عربية، بالنسبة إلى الأعمال المتأخرة نسبيًا.[34]

ويعتقد عدد من مؤرخي العلوم أن ملاحظات ابن سينا، بخصوص المعادن وطبيعتها وأصنافها وخواصها، قد ساهمت في تبلور صناعة التعدين العصرية، بل إن أساليب وتقنيات التعدين التي استعملها الأندلسيون في مدينة المعدن (Almaden)، قد ألهمت الألمان في تخليص معدن نقي خالص، استخدموه في صناعة الطائرات قُبيل الحرب العالمية الثانية.[35] وأكثر من ذلك، فقد بلغت الخبرة المعملية في المعادن درجة كبيرة، أصبح معها في الإمكان صناعة بعض الجواهر في المختبر، ومن ذلك ما ذكره التيفاشي من وصف لتجربة عملية لصناعة اللازورد في المختبر.[36]

المراجع

12. المقريزي، أحمد بن علي. المواعظ والاعتبار بذكر الخطط والآثار. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية. جزء 1، صفحة 194.
13. الإدريسي، محمد بن محمد. نزهة المشتاق في اختراق الآفاق. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية، 2010. جزء 1، ص: 40.
14. الإدريسي، محمد بن محمد. نزهة المشتاق في اختراق الآفاق. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية، 2010. جزء 1، ص 99.
15. الزهري، محمد بن أبي بكر. كتاب الجغرافية. تحقيق: محمد حاج صادق. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية. صفحة 44.
16. Gemsbrokers. Emraude [Internet]. [cited 26 Aug 22]. Available from: http://www.gemsbrokers.org/pierre_precieuse/pierres_et_gemmologie/emeraude_provenance.htm.
17. Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, et al. Historique des gisements d'émeraude et identification des émeraudes anciennes (1ère partie) [Internet]. 2000a [cited 03 Apl 22]. Available from: http://www.crpg.cnrs-nancy.fr/Science/Emeraudes/AFG1.html.
18. المقريزي، أحمد بن علي. المواعظ والاعتبار بذكر الخطط والآثار. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية. جزء 1، صفحة 233.
19. Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, & al. Oxygen Isotpes and Emerald trade routes since antiquity. Science. 2000c;287(5453): 631-633.
20. الإدريسي، محمد بن محمد. نزهة المشتاق في اختراق الآفاق. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية، 2010. جزء 1، ص: 40.
21. البيروني، محمد بن أحمد. الجماهر في معرفة الجواهر. الطبعة الأولى. بيروت: دار الكتب العلمية، 2010. صفحة 173.
22. التيفاشي، أحمد بن يوسف. أزهار الأفكار في جواهر الأحجار. تحقيق وتعليق وشرح: محمد يوسف حسن ومحمود بسيوني خفاجي. الطبعة الثانية. القاهرة: دار الكتب والوثائق القومية، 2010. صفحة 80.
23. الرويح، فوزية محمد. موارد الأرض الطبيعية. الطبعة الأولى. الكويت: مطبوعات جامعة الكويت، 1999. صفحات 154-155؛ السكري، علي. الجيولوجيا عند العرب. موسوعة الحضارة العربية الإسلامية. الجزء الأول. الطبعة الأولى. بيروت: المؤسسة العربية للدراسات والنشر، 1995؛ 593-594.

1. Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, et al. Historique des gisements d'émeraude et identification des émeraudes anciennes (1ère partie) [Internet]. 2000a [cited 03 Apl 22]. Available from: http://www.crpg.cnrs-nancy.fr/Science/Emeraudes/AFG1.html.
2. Giuliani G, Chaussidon M, France-Lanord C, et al. *L'exploitation des mines d'émeraude d'Autriche et de la Haute-Egypte à l'époque gallo-romaine*: *mythe ou réalité*?. Revue de Gemmologie A.F.G. 2007;143: 20-24.
3. Heuzé M. Le jardin secret des Emeraudes. L'Objet d'Art. 2000;345: 52-65.
4. Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, & al. Oxygen Isotpes and Emerald trade routes since antiquity. Science. 2000c;287(5453): 631-633.
5 Reys Au. Ressources Gemmifères et developpement des territoires : la filière des pièrres de couleurs du MINAS GERAIS au Brésil. Thèse de Doctorat. Université Paris Diderot, Spécialité : Géographie & Développement. 2015;403 p.
6. Emraude [Internet]. [cited 02 Oct 22]. Available from: https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89meraude.
7. Giuliani G, Heuzé M, Chaussidon M. La route des émeraudes anciennes. Pour La Science. 2000d;277: 58-65. Pp: 60-61.
8. Heuzé M. Le jardin secret des Emeraudes. L'Objet d'Art. 2000;345: 52-65.
9. Giuliani G, Chaussidon M, Schubnel H-J, & al. Oxygen Isotpes and Emerald trade routes since antiquity. Science. 2000c;287(5453): 631-633.
10. المسعودي، علي بن الحسين. مروج الذهب ومعادن الجواهر. الطبعة الأولى. بيروت: دار المعرفة، 2005. جزء 1، صفحات 20-22.
11. البيروني، محمد بن أحمد. الجماهر في معرفة الجواهر. الطبعة الأولى. بيروت: دار الكتب العلمية، 2010. صفحة 172.

صفحات 90-91؛ السكري، علي. علوم الأرض عند العرب والمسلمين. الطبعة الأولى. القاهرة: الزهراء للإعلام العربي، 2002. صفحة 83.

24. Grundmann G, Morteani G. Multi-stage emerald formation during pan-african regional metamorphism: The Zebara, Sikait, Umm Kabo deposits, Southern Eastern desert of Egypt. Journal of African Earth Sciences. 2008;50: 168-187.

25. المقريزي، أحمد بن علي. المواعظ والاعتبار بذكر الخطط والآثار. الطبعة الأولى. القاهرة: مكتبة الثقافة الدينية. جزء 1، صفحة 233.

26. Giuliani G, Chaussidon M, France-Lanord C, et al. *L'exploitation des mines d'émeraude d'Autriche et de la Haute-Egypte à l'époque gallo-romaine*: *mythe ou réalité*?. Revue de Gemmologie A.F.G. 2007;143: 20-24.

27. البيروني، محمد بن أحمد. الجماهر في معرفة الجواهر. الطبعة الأولى. بيروت: دار الكتب العلمية، 2010. صفحة 173.

28. البيروني، محمد بن أحمد. الجماهر في معرفة الجواهر. الطبعة الأولى. بيروت: دار الكتب العلمية، 2010. صفحة 173.

29. Harrell J.A. Archaeological geology of Wadi Sikait. Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology. 2006 ;4(1): 1-12.

30. Grundmann G, Morteani G. Multi-stage emerald formation during pan-african regional metamorphism: The Zebara, Sikait, Umm Kabo deposits, Southern Eastern desert of Egypt. Journal of African Earth Sciences. 2008;50: 168-187.

31. الدمشقي، محمد بن أبي طالب. نخبة الدهر في عجائب البر والبحر. بطرسبورغ: مطبعة الأكاديمية الإمبراطورية، 1865. صفحات 67-68.

32. Grundmann G, Morteani G. Multi-stage emerald formation during pan-african regional metamorphism: The Zebara, Sikait, Umm Kabo deposits, Southern Eastern desert of Egypt. Journal of African Earth Sciences. 2008;50: 168-187.

33. Djebbar A. Une histoire de la science arabe. Entretiens avec Jean Rosmorduc. 1ère éds. Paris: Eds du Seuil; 2001. Djebbar A. Une histoire de la science arabe. Entretiens avec Jean Rosmorduc. 1ère éds. Paris: Eds du Seuil; 2001.

34. هيل دونالد. العلوم والهندسة في الحضارة الإسلامية، لبنات أساسية لبناء صرح الحضارة الإنسانية. ترجمة: أحمد فؤاد باشا. سلسلة عالم المعرفة، العدد 305. يوليو 2004. صفحة 307.

35. قاري، لطف الله. تراثنا العلمي والحياة المعاصرة. في: العلوم في المجتمعات الإسلامية مقاربات تاريخية وآفاق مستقبلية. إشراف: أبطوي محمد. أشغال الندوة المنعقدة بالرباط في 16-17 أبريل 2004. الطبعة الأولى. الدار البيضاء: مؤسسة الملك عبد العزيز، 2007؛ 67-93. صفحة 74.

36. التيفاشي، أحمد بن يوسف. أزهار الأفكار في جواهر الأحجار. تحقيق وتعليق وشرح: محمد يوسف حسن ومحمود بسيوني خفاجي. الطبعة الثانية. القاهرة: دار الكتب والوثائق القومية، 2010. صفحة 286.

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research
https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.9
المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 8

ورقة بحثية

تأثيرات الكادميوم في السمّية الحادة لمبيدات حشرية مثبطة لنشاط إنزيم الكولين إستيريز في الفئران

بنان خالد البكوع[1]، فؤاد قاسم محمد[1*]

[1] فرع الفسلجة والكيمياء الحياتية والأدوية، كلية الطب البيطري، جامعة الموصل، الموصل، العراق

* Email: fkmohammad@uomosul.edu.iq

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء فحص السمّية الحادة في ذكور الفئران لكل من الكادميوم ونماذج من المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية والكاربامية المثبطة لإنزيم الكولين إستيريز، وتداخلها مع الكادميوم في مستويات الجُرع المميتة الوسطية خلال 24 ساعة (الجم-50 LD50)، وتحليل الآيزوبولوغرام (Isobologram Analysis)، ومؤشر التداخل السمّي (Toxicity Index). بلغت الجم-50 للكادميوم في الفئران 8.6 ملغم/ كغم (mg/ kg) من وزن الجسم بالحقن في الخلب، وأظهرت الفئران المعاملة بالكادميوم علامات التمطّي مع صعوبة الحركة والمشي. وبلغت الجم-50 لكل من المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية دايكلورفوس وديازينون وكوموفوس وكلوربايريفوس عن طريق التجريع الفموي «التزقيم» (Gavage) 81.6 و157.6 و192.4 و437.1 ملغم/ كغم من وزن الجسم، على التوالي، في حين بلغت الجم-50 لمبيدَي الكارباميت كاربارايل وميثوميل عن طريق الفم 940.2 و177.5 ملغم/ كغم من وزن الجسم، على التوالي. وأظهرت الفئران المتسممة بهذه المبيدات علامات الإلعاب والتدمع وانتصاب الشعر والذيل والتمدد على أرضية القفص والتحزم العضلي (Muscle Fasciculation) والرجفة والاختلاج العصبي وصعوبة التنفس، ومن ثم الموت خلال 24 ساعة من التجريع. وعند حقن الكادميوم في الخلب قبل المبيدات الحشرية بنصف ساعة، انخفضت قيم الجم-50 (زيادة السمّية) لكل من الكادميوم (51.4 - 74%) والمبيدات الحشرية (48.3 - 86.8%) مقارنة بقيمها بعد إعطائها لوحدها في الفئران. وقد بيّن تحليل الآيزوبولوغرام للتداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية أن نوع التداخل كان تآزريًا (Synergistic)، ودلّ مؤشر التداخل بين الكادميوم والمبيدات الحشرية جميعها على أن التداخل كان تآزريًا أيضًا لكون قيمه أقل من واحد. وتشير هذه النتائج إلى احتمالية حصول تداخل سمّي بين الكادميوم مع المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية والكاربامية، إذْ سبّب إعطاء هذه المركبات في الفئران بجرع سامة وحادة تداخلًا سمّيًا حادًا من النوع التآزري الذي تم الكشف عنه وفق تجارب الجرع المميتة الوسطية وتحليل الآيزوبولوغرام ومؤشر التداخل السمّي.

الكلمات المفتاحية: الكادميوم، الأستيل كولين إستيريز، مبيد حشري، الجرعة المميتة الوسطية، آيزوبولوغرام.

Title

Effects of cadmium on the acute toxicity of cholinesterase inhibiting insecticides in mice

Banan K. Al-Baggou[1], Fouad K. Mohammad[1*]

[1] Department of Physiology, College of Veterinary Medicine, University of Mosul, Mosul, Iraq

Abstract

The purpose of this study was to examine in male mice the acute toxicity of cadmium and representative organophosphate and carbamate cholinesterase inhibiting insecticides and their interaction at the levels of the 24 h median lethal dose (LD50), isobologram analysis and toxicity index. The LD50 value of cadmium was 8.6 mg/kg of body weight, intraperitoneally. Cadmium-treated mice showed writhing responses with difficulty in movement and walking. The oral LD50 values the organophosphate insecticides dichlorvos, diazinon, cuomaphos, chlorpyrifos were 81.6, 157.6, 192.4 and 437.1 mg/kg of body weight, respectively; whereas those of the carbamate insecticides carbaryl and methomyl were 940.2

Received 24 May 2022; accepted 03 August 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Al-Baggou BK, Mohammad FK. Effects of cadmium on the acute toxicity of cholinesterase inhibiting insecticides in mice. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.9. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.9

and 177.5 mg/kg of body weight, respectively. Mice intoxicated with insecticides showed signs of salivation, lacrimation, piloerection, straub tail, flat body appearance, muscle fasciculation, tremor, convulsion, dyspnea followed by death within 24 of oral dosing. When cadmium was injected 30 min before the insecticide dosing, the LD50 values of cadmium and those of the insecticides decreased (increased toxicity) by 51.4 to 74% and 48.3 to 86.8%, respectively, in comparison to their individual LD50 values in mice. Isobologram analysis revealed that the toxic interaction between cadmium and the insecticides was synergistic. The toxicity index also indicated that the interaction between cadmium and the insecticides was synergistic because its values were < 1. These results suggest that administering cadmium with organophosphate and carbamate insecticides at acute toxic doses in mice causes acute synergistic toxic interaction as identified by the LD50 experiments, isobologram analysis and toxicity index.

Keywords: Cadmium, acetylcholinesterase, insecticide, LD50, isobologram

1- المقدمة

يُعد الكادميوم (Cadmium) من أهم المعادن الثقيلة غير الضرورية للجسم الذي يتميز بسمّيته العالية ومخاطره الصحية للإنسان والحيوان على حدٍ سواء، فضلًا عن كونه ملوثًا بيئيًا خطرًا ينتج من النشاطات الزراعية والصناعية.[1-4] يُمتص الكادميوم عبر الجهاز التنفسي بنسبة 10-40% من الكمية المأخوذة، وبنسبة 5% عبر الجهاز الهضمي،[5-7] ويتركز ويُخزن في الكبد والكليتين، ويتوزع في مختلف أعضاء الجسم، مع عمر نصف (half-life) طويل الأمد يمتد سنوات، مما يزيد من خطورة تراكمه في أنسجة الجسم وإحداثه تأثيرات سامة متعددة في أجهزة الجسم.[5-9]

تمتاز تأثيرات الكادميوم السامة بالتلف في الكبد والكلية ونخر الخصى وارتفاع ضغط الدم وسكر الدم وتلف مخاطية الأمعاء والخزب الرئوي، وتخلخل العظام ولينها، والسمّية العصبية بالأخص في الدماغ، فضلًا عن التأثيرات المسخية في الأجنة والأورام السرطانية والطفرات الوراثية في الإنسان والحيوان، والكرب التأكسدي.[1، 5، 6، 8-10] ويسبِّب الكادميوم سمّية حادة في حالات التعرض الآني لكميات كبيرة من المعدن، وتظهر أعراض تسمم على مستوى الجهاز العصبي المركزي تتميز بتغييرات سمّية عصبية في كيميائية الدماغ وإنزيماته مثل إنزيم الكولين إستيريز (Cholinesterase)، فضلًا عن اضطرابات في السلوك العصبي.[11-15]

من جهة أخرى، توجد مبيدات حشرية مثبطة لإنزيم الكولين إستيريز من نوع المركبات الفسفورية العضوية (Organophosphates) وأخرى كاربامية (Carbamates) تُستخدم في الزراعة والصحة العامة وفي الطب البيطري للتخلص من الحشرات الضارة.[16-19] وتتجسد آلية التسمم بهذه المبيدات الحشرية في الإنسان والحيوانات بتثبيط إنزيم الكولين إستيريز في الأجهزة العصبية، مسبّبةً تأثيرات مسكرينية (Muscarinic) ونيكوتينية (Nic-otinic) وتأثيرات أخرى في مستوى الجهاز العصبي المركزي.[16، 19-21] وبسبب احتمالية التعرض للمعادن الثقيلة، ومن ضمنها الكادميوم والمبيدات المثبطة لإنزيم الكولين إستيريز، ضمن البيئة المحيطة بنا وضمن المخاطر المتعلقة باستعمال المبيدات والمواد الصناعية والزراعية الحاوية على الكادميوم بدون حكمة، فمن الوارد جدًا حصول تداخل سمّي ما بين هذه المركبات.[22-25] ونظرًا إلى محدودية الدراسات لنوع التداخل السمّي الحاد بين الكادميوم ومثبطات الكولين إستيريز، كان الغرض من الدراسة الحالية إجراء فحص السمّية الحادة لكل من الكادميوم ونماذج من المبيدات المثبطة لإنزيم الكولين إستيريز وتداخلها مع الكادميوم في مستويات الجرع المميتة الوسطية (الجم-50) (Median Lethal Dose, LD50) وتحليل الآيزوبولوغرام (Isobologram Analysis) ومؤشر التداخل (Interaction Index) السمّي.

2- المواد وطرائق العمل

2-1 الحيوانات المختبرية

استُخدمت ذكور فئران بيض سويسرية الأصل (Swiss)، بأوزان راوحت ما بين 18 إلى 32 غرامًا، تمّت تربيتها في بيت الحيوانات المختبرية لكلية الطب البيطري بجامعة الموصل في أقفاص بلاستيكية، أرضيتها مزودة بنشارة الخشب لهذا الغرض تحت ظروف دورة ضوئية 10 ساعات ضوء و14 ساعة ظلام، بدرجة حرارة 22 ± 2 درجة مئوية، مع تزويدها بالماء والعلف المختبري (من المعامل المحلية لإنتاج العلف الحيواني) بشكل حر. وتم الحصول على موافقة لجنة الدراسات العليا في الكلية لإجراء التجارب المختبرية على الفئران ضمن شروط التعامل برفق مع الحيوانات والمتفق عليها في المؤسسة، وهي اللجنة المشرفة على أخلاقيات البحث العلمي لبحوث الدراسات العليا.

2-2 المواد والكيمياويات المستعملة

كلوريد الكادميوم ($CdCl_2.2\frac{1}{2}H_2O$ Cadmium chloride) نقاوة 99% من إنتاج شركة (B.D.H.) البريطانية (مدينة بول، المملكة المتحدة)، وتم الحصول من المكاتب الزراعية والبيطرية المحلية على المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية السائلة (دايكلورفوس Dichlorvos 50%، ديازينون Diazinon 60%، كوموفوس Cuomaphos 50%، كلوربايريفوس Chlorpyrifos 48%)، والمساحيق الكاربامية (كاربارايل Carbaryl 85%، ميثوميل Methomyl 1%) ضمن علبها الأصلية غير المفتوحة.

2-3 تأثير الكادميوم في الجم-50 للمبيدات الفسفورية العضوية والكاربامية في الفئران باستخدام طريقة الصعود والنزول[26]

استُخدم المحلول الملحي الفسلجي (Physiological Saline Solution) لتحضير الجرع المطلوبة من الكادميوم على أساس وزن الكادميوم المذاب فيه بحجم جرعة بلغت 10 مل/ كغم من وزن الجسم عن طريق الخلب (Intraperitoneal)، في حين استُخدم الماء المقطر لتحضير محاليل عالقة من الجرع المطلوبة من المبيدات على أساس المادة الفعّالة بحجم 10 مل/ كغم من وزن الجسم عن طريق التجريع الفموي بعد رجّ المحاليل جيدًا قبل الاستعمال. ويبين الجدول (1) اختيار جرع الكادميوم والمبيدات الحشرية لمعاملة الفئران على نحو منفرد أو معًا، وكان حقن الكادميوم قبل 30 دقيقة من تجريع المبيد الحشري في تجارب التداخل. وحُددت الجم-50 في كل تجربة بعد قراءة النتيجة التي تمثلت بموت الحيوان أو بقائه على قيد الحياة بعد 24 ساعة من المعاملة.[26] وكان حساب الجم-50 لكل معاملة اعتمادًا على الجدول الخاص بذلك، كما يأتي[26]:

$LD50 = xf + kd$، حيث إن LD50 يعني الجم-50، وxf يعني آخر جرعة معطاة، وd يدل على مقدار الزيادة أو النقصان في الجرعة المعطاة، وk هي قيمة جدولية عند مستوى من الخطأ القياسي بلغ 0.61 بحسب

الجدول المعتمد والمعروض في المصدر.[26] وتمت أيضًا مراقبة الفئران لأيّ أعراض تسمم خلال أول ساعتين من إعطاء المركبات.

جدول 1. برنامج معالجة الفئران بالكادميوم والمبيدات الحشرية المثبطة لإنزيم الكولين إستيريز كل على حدة أو معًا لتحديد الجرعة المميتة الوسطية بطريقة الصعود والنزول.[26]

نوع المعاملة	العدد	أقل جرعة-أعلى جرعة (ملغم/ كغم)	مقدار التغيير بالجرعة (ملغم/ كغم) لكل فأر
الكادميوم	5	10-8	2
دايكلورفوس	6	125-75	25
ديازينون	5	175-125	50
كوموفوس	5	225-150	50
كلوربايريفوس	8	450-250	50
كارباريل	5	1000-800	200
ميثوميل	8	250-50	50
		التداخل السمّي*	
الكادميوم + دايكلورفوس	8	8.6-3.5 + 81.6-32.7	1.7 + 16.3
الكادميوم + ديازينون	7	8.6-5.2 + 150-75	1.7 + 25
الكادميوم + كوموفوس	7	4-1 + 10	1 + 10
الكادميوم + كلوربايريفوس	7	8.6-1.8 + 320-120	1.7 + 50
الكادميوم + كارباريل	7	6.9-1.8 + 752.2-188.2	1.7 + 188
الكادميوم + ميثوميل	8	5-1 + 50-10	1 + 10

* كانت المعالجة بالكادميوم في الخلب، وبعد 30 دقيقة أُعطيت المبيدات الحشرية بالتجريع الفموي.

4-2 إجراء تحليل الآيزوبولوغرام

استخدمنا تحليل الآيزوبولوغرام لبيان نوع التداخل السمّي بين الكادميوم وكل من المبيدات المستعملة في هذه الدراسة.[27-30] وبعد تحديد الجم-50 للكادميوم، ثُبّتت هذه الجرعة وحدها على ورقة الرسم البياني في المحور السيني (X)، في حين ثُبتت الجم-50 للمبيد الحشري في المحور الصادي (Y)، ثم رُبطت هاتان الجرعتان بخط قُطري (Diagonal) يصل النقطتين ببعضهما. وبعد إعطاء الكادميوم مع المبيد الحشري بنسبة 1:1 من الجم-50 (الجدول 1)، تم تحديد الجم-50 للمادتين معًا في الفئران. وحين تحديد نقطة التقاء الجرعتين من الكادميوم والمبيد الحشري، جرى فحص نوع التداخل السمّي كما يأتي: عند وقوع نقطة الالتقاء على الخط الواصل ما بين الجم-50 المنفرد للكادميوم وتلك التي للمبيد الحشري، يكون نوع التداخل جمعيًا (Additive)، وفي حالة وقوع النقطة فوق الخط (إلى الخارج منه) يكون التداخل تضاديًا (Antagonistic)، في حين يعني وقوع النقطة تحت الخط (إلى الداخل منه) بأن التداخل تآزري (Synergistic).[28-30]

5-2 حساب مؤشر التداخل السمّي

حُسب مؤشر التداخل السمّي من النتائج الخاصة بالجم-50 بالمعادلة الآتية: da/Da+db/Db، حيث إن Da وDb هما الجم-50 للكادميوم والمبيد الحشري كل على حدة، على التوالي، في حين أن da وdb هما قيمتا الجم-50 للكادميوم والمبيد الحشري، على التوالي، باستخدامهما معًا.[28، 29] وفي حالة كون مؤشر التداخل واحدًا، فإن ذلك يعني عدم وجود تداخل (فقط تأثير جمعي)، وأقل من واحد يعني تداخلًا تآزريًا، وعند كونه أكثر من واحد، يكون تداخلًا تضاديًا.[28، 29]

6-2 الإحصاء

نظرًا إلى طبيعة البيانات (الجم-50) وتحليل الآيزوبولوغرام مع مؤشرات التسمم، فقد جرت قراءة النتائج وبيان أهميتها استنادًا إلى تغيرات النسب المئوية للجم-50 عند الخطأ القياسي (0.61)،[26] والقراءة المباشرة لمخططات الآيزوبولوغرام ونتائج معادلات مؤشر التداخل السمّي لبيان أوجه التداخل (الجمعي، أو التآزري، أو التضادي)، كما هو معتمد في المصادر.[27-30]

3- النتائج

1-3 تأثير الكادميوم في الجم-50 للمبيدات الفسفورية العضوية والكاربامية في الفئران

بلغت الجم-50 للكادميوم في ذكور الفئران 8.6 ملغم/ كغم من وزن الجسم، بالحقن في الخلب (الجدول 2). وأظهرت الفئران المعاملة بالكادميوم علامات التمطي (Writhing) مع صعوبة الحركة والمشي. وبلغت الجم-50 لكل من المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية دايكلورفوس وديازينون وكوموفوس وكلوربايريفوس عن طريق الفم 81.6 و157.6 و192.4 و437.1 ملغم/ كغم من وزن الجسم، على التوالي، في حين بلغت الجم-50 عن طريق الفم لمبيدَي الكارباميت كارباريل وميثوميل 940.2 و177.5 ملغم/ كغم من وزن الجسم، على التوالي (الجدول 2). وأظهرت الفئران المتسممة بهذه المبيدات علامات الإلعاب، والتدمع، وانتصاب الشعر والذيل، والتمدد على أرضية القفص، والتحزم العضلي، والرجفة، والاختلاج العصبي، وصعوبة التنفس، ومن ثم الموت خلال 24 ساعة من التجريع.

وعند حقن الكادميوم في الخلب قبل المبيدات الحشرية بنصف ساعة، انخفضت قيم الجم-50 لكل من الكادميوم والمبيدات الحشرية مقارنة بقيمها عن إعطائها على نحو منفرد في الفئران (الجدولان 2 و3). وبلغت النسب المئوية لانخفاض الجم-50 للكادميوم عند حقنها مع المبيدات ما بين 51.4 و74%، في حين كانت نسب الانخفاض ذاتها للمبيدات الحشرية مع الكادميوم ما بين 48.3 و86.8% (الجدول 3). وتُعد هذه النسب المئوية العالية في انخفاض الجم-50 (أكثر من 50%) مؤشرات زيادة سمّية كل من الكادميوم والمبيدات الحشرية عند إعطائها معًا في الفئران.

جدول 2. نتائج تحديد الجرعة المميتة الوسطية (الجم-50) بطريقة الصعود والنزول[26] للكادميوم والمبيدات الحشرية المثبطة لإنزيم الكولين إستيريز كل على حدة أو معًا في الفئران.

نوع المعاملة*	العدد	الجرعة الأولى-الجرعة الأخيرة (ملغم/كغم)	النتيجة بعد 24 ساعة من المعاملة	الجم-50 (ملغم/كغم)
الكادميوم	5	10-10	XOXOX	8.6
دايكلورفوس	6	100-125	XXOXOX	81.6
ديازينون	5	150-150	XOOXO	157.6
كوموفوس	5	200-150	XOOXX	192.4
كلوربايريفوس	8	400-250	OOOOXOXO	437.1
كاربارِيل	5	800-1000	OXOXO	940.2
ميثوميل	8	100-50	OOOOXXXO	177.5
التداخل السمّي				
الكادميوم + دايكلورفوس	8	3.5-8.6 + 32.7-81.6	XXXXOXOX	2.24 + 20.62
الكادميوم + ديازينون	7	5.2-8.6 + 100-150	XXXOXOX	3.94 + 81.48
الكادميوم + كوموفوس	7	1-1 + 10-10	OOOXXXO	2.54 + 25.44
الكادميوم + كلوربايريفوس	7	1.8-8.6 + 120-320	XXXOXXO	3.26 + 163.0
الكادميوم + كاربارِيل	7	1.8-6.9 + 376.2-752.2	XXXOXOX	2.24 + 236.89
الكادميوم + ميثوميل	8	4-1 + 40-10	OOOOXOXX	4.18 + 41.82

* كانت المعالجة بالكادميوم في الخلب، وبعد 30 دقيقة أُعطيت المبيدات الحشرية بالتجريع الفموي.

O: بقاء الحيوان على قيد الحياة بعد 24 ساعة من المعاملة.

X: موت الحيوان خلال 24 ساعة من المعاملة.

جدول 3. مؤشر التداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية المثبطة لإنزيم الكولين إستيريز والنسبة المئوية لانخفاض الجرعة المميتة الوسطية (الجم-50) لكل منهما عند إعطائهما معًا في الفئران.

المعاملة بالمبيد الحشري بعد الكادميوم	مؤشر التداخل التآزري*	النسبة المئوية لانخفاض الجم-50	
		الكادميوم	المبيد الحشري
دايكلورفوس	0.51	74.0	74.7
ديازينون	0.98	54.2	48.3
كوموفوس	0.43	70.5	86.8
كلوربايريفوس	0.75	62.1	62.7
كارباريل	0.51	74.0	74.8
ميثوميل	0.72	51.4	76.4

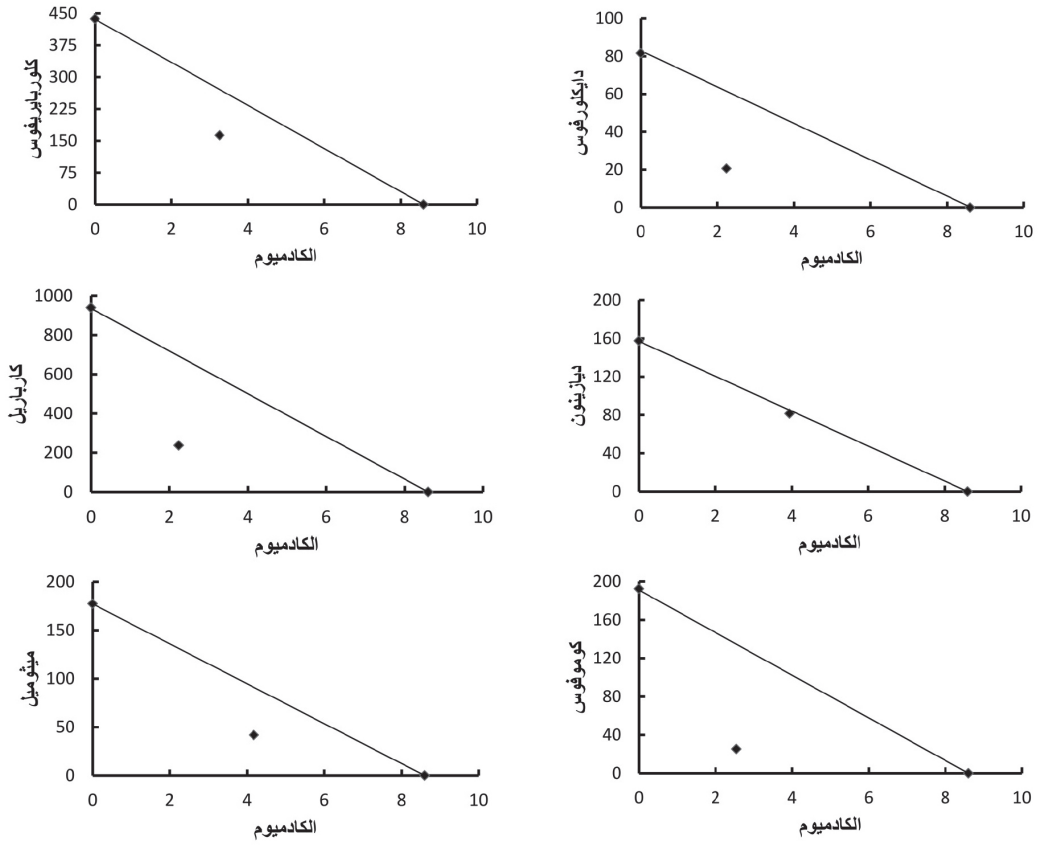
كانت المعالجة بالكادميوم في الخلب، وبعد 30 دقيقة أُعطيت المبيدات الحشرية بالتجريع الفموي.

*مؤشر التداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية[28، 29]:

1: تأثير جمعي (لا يوجد تداخل)؛ أقل من 1: تأثير تآزري؛ أكثر من 1: تأثير تضادي.

2-3 تحليل الآيزوبولوغرام

بيّن تحليل الآيزوبولوغرام للتداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية الفسفورية العضوية أو الكاربامية أن نوع التداخل كان تآزريًا لوقوع نقاط الالتقاء (التداخل) جميعها تحت خط منحنى التأثير الجمعي، أي إلى الداخل منه (شكل 1).



شكل 1. تحليل الآيزوبولوغرام لبيان نوع التداخل السمّي بين الكادميوم وكل من المبيدات الحشرية الفسفورية (دايكلورفوس وديازينون وكوموفوس وكلوربايريفوس) والكاربامية (كارباريل وميثوميل) في الفئران، بعد تحديد جرعها المميتة الوسطية (الجم-50) منفردًا أو معًا على المحورين (س) و(ص) (ملغم/ كغم، من وزن الجسم). وتم حقن الكادميوم في الخلب بنصف ساعة قبل التجريع بالمبيد الحشري. وبعد تحديد نقطة التقاء الجم-50 لكل من الكادميوم والمبيد الحشري عند إعطائهما معًا، جرى فحص نوع التداخل مباشرةً من المخطط اعتمادًا على ما يأتي: عند وقوع نقطة الالتقاء على الخط الواصل ما بين الجم-50 المنفرد للكادميوم وتلك التي للمبيد الحشري يكون نوع التداخل جمعيًا، وفي حالة وقوع النقطة فوق الخط يكون التداخل تضاديًا، أما عند وقوع النقطة تحت الخط فيكون التداخل تآزريًا.[28، 29] وتدل هذه القراءات من المخططات على أن التداخل السمّي بين الكادميوم وكل من المبيدات الحشرية الفسفورية أو الكاربامية كان من النوع التآزري.

3-3 مؤشر التداخل السمّي

زيادةً في التأكيد، فقد دلّت حسابات مؤشر التداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية جميعها (الجدول 3) على أن التداخل كان تآزريًا لكون قيمه أقل من 1 (0.43–0.98).

4- المناقشة

أكّدت الدراسات احتمالية التداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية، وذلك لإمكانية تعرّض الإنسان أو الحيوان لهذه الملوثات البيئية السامة.[22-25، 31، 32] ولندرة دراسات التداخل الحاد بين الكادميوم والمبيدات الحشرية، أظهرت الدراسة الحالية حصول تداخل سمّي من النوع التآزري (بحسب قراءات تحليل الآيزوبولوغرام ومؤشر التداخل السمّي، ونسبة الانخفاض في الجم-50) بين الكادميوم ومبيدات حشرية فسفورية عضوية (دايكلورفوس وديازينون وكوموفوس وكلوربايريفوس) وأخرى كاربامايتية (كارباريل وميثوميل) على حدٍ سواء. وتُسجَّل هذه النتيجة حول التداخل الحاد بين الكادميوم والمبيدات الحشرية وكونه من النوع التآزري لأول مرة في أدبيات النشر العلمي. ومما يُعزِّز من أهمية هذا التداخل هو كون آلية العمل السمّي للكادميوم[1، 5، 6-13] تختلف عن مثيلاتها للمبيدات الحشرية الفسفورية العضوية أو تلك الكاربامايتية.[16، 17، 20، 21] ويتميز الكادميوم بطول مدة بقائه في جسم الإنسان والحيوان وتراكمه، وكونه يوجد في البيئة على نحو مستدام؛ الأمر الذي يجعل من هذا المعدن مصدر أذية وسمّية لكل أشكال الحياة، مع زيادة احتمالية حدوث أنواع متعددة من التداخل السمّي مع مبيدات مختلفة الأنواع.[1، 5، 32]

يُسبِّب الكادميوم أنماطًا عديدة من التسمم في مستويات الأنسجة والأجهزة الداخلية للجسم والتي تؤثر سلبيًا في تكاثر الخلية وتمايزها، مؤدية إلى موت الخلية المبرمج وعدم استقرار في الجينات مع التداخل في عمليات إصلاح «الدنا» (DNA)، وتحفيز الكرب التأكسدي في عمليات كيمياحياتية الأنسجة.[1، 6-8، 33، 34] ومن جهة أخرى، تُعزى آلية التسمم الحاد بالمبيدات الفسفورية العضوية إلى تثبيط غير عكوسي (Irreversible) لإنزيم الكولين إستيريز في الأنسجة العصبية، في حين تسبّب مبيدات الكاربامايت تثبيطًا عكوسيًا لهذا الإنزيم، وتكون النتيجة تراكم الناقل العصبي الأستيل كولين (Acetylcholine) في النهايات العصبية، مسببًا علامات تسمم يمكن أن توصف بتأثيرات مسكرينية ونيكوتينية وأخرى على مستوى الجهاز العصبي المركزي.[16، 20، 21] وقد لاحظنا في الدراسة الحالية هذه التأثيرات كولينية الفعل في الفئران المتسممة بالمبيدات الفسفورية العضوية والكاربامايتية على حدٍ سواء. وتُعزى العلامات الناتجة من حقن الكادميوم في خلب الفئران (مثل التمطي وقلة الحركة) إلى التأثير المخرِّش لهذا المعدن والذي يسبب الألم ومن ثم انخفاض النشاط الحركي.[35-37]

وعلى الرغم من هذا الاختلاف في آلية التسمّم بين الكادميوم والمبيدات الحشرية قيد الدراسة الحالية، فإنه لا يمكننا إهمال احتمالية حدوث التداخل السمّي في مستويات التأثير في نشاط إنزيم الكولين إستيريز في الأنسجة العصبية ومواقع الاتصال العصبي والعضلي. وقد وُجد أن الكادميوم قد يُثبط من نشاط هذا الإنزيم أو يحوِّره في الدماغ أو في الخلايا العصبية، فضلًا عن عرض الأنسجة للكرب التأكسدي وفقدان حيويتها[11، 38-40] ومن الجدير بالذكر، اعتمادًا على قيم الجم-50، أن الكادميوم يُعد معدنًا عالي السمية،[1، 6، 7] في حين تُصنّف المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية والكاربامايتية المستعملة في هذه الدراسة ضمن مبيدات تُراوح سمّيتها ما بين متوسطة السمية إلى عالية السمّية.[16، 17، 41] ولهذه الأسباب نتوقع أن يكون لمثل هذا التداخل السمّي بين الكادميوم والمبيدات الحشرية تأثيرات في السلوك العصبي في الحيوانات المختبرية، مما يفتح المجال واسعًا لفهم نوع التداخل السمّي في السلوك العصبي ومستويات الأجهزة العصبية المركزية والمحيطية، ومن ضمنها إنزيم الكولين إستيريز في الإنسان أو الحيوان.

5- الخاتمة

نستخلص من هذه الدراسة أن إعطاء الكادميوم مع المبيدات الحشرية الفسفورية العضوية والكاربامايتية في الفئران بجرع حادة يسبِّب تداخلًا سمّيًا حادًا من النوع التآزري الذي تم الكشف عنه وفق تجارب الجرع المميتة الوسطية وتحليل الآيزوبولوغرام ومؤشر التداخل السمي.

الدعم المالي، والشكر والتقدير

تم دعم البحث ماليًا مع توفير المستلزمات كافة من كلية الطب البيطري بجامعة الموصل. ويُمَثِّل البحث جزءًا من أطروحة شهادة الدكتوراه في السموم البيطرية حصلت عليها الباحثة الأولى من جامعة الموصل.

المراجع

1. Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. The effects of cadmium toxicity. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(11):3782. https://doi.org/10.3390/ijerph17113782. PMID: 32466586; PMCID: PMC7312803.
2. Amer AAE, El-Makarem HSA, El-Maghraby MA, Abou-Alella SA. Lead, cadmium, and aluminum in raw bovine milk: Residue level, estimated intake, and fate during artisanal dairy manufacture. Journal of Advanced Veterinary and Animal Research. 2021;8(3):454–464. https://doi.org/10.5455/javar.2021.h534. PMID: 34722744; PMCID: PMC8520162.
3. Liu YH, Wang CW, Wu DW, Lee WH, Chen YC, Li CH, et al. Association of heavy metals with overall mortality in a Taiwanese population. Nutrients. 2021;13(6):2070. https://doi.org/10.3390/nu13062070. PMID: 34204322; PMCID: PMC8235372.
4. Vijayakumar V, Abern MR, Jagai JS, Kajdacsy-Balla A. Observational study of the association between air cadmium exposure and prostate cancer aggressiveness at diagnosis among a nationwide retrospective cohort of 230,540 patients in the United States. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(16):8333. https://doi.org/10.3390/ijerph18168333. PMID: 34444081; PMCID: PMC8392592.
5. Satarug S. Dietary cadmium intake and its effects on kidneys. Toxics. 2018;6(1):15. https://doi.org/10.3390/toxics6010015. PMID: 29534455; PMCID: PMC5874788.
6. IPCS. Cadmium [Internet]. Geneva: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (Environmental Health Criteria 134); 1992. Available from: http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm
7. Faroon O, Ashizawa A, Wright S, Tucker P, Jenkins K, Ingerman L, et al. Toxicological profile for cadmium. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012. PMID: 24049863.

8. Rani A, Kumar A, Lal A, Pant M. Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: A review. International Journal of Environmental Health Research. 2014;24(4):378–399. https://doi.org/10.108009603123.2013.835032/. PMID: 24117228
9. Carmona A, Roudeau S, Ortega R. Molecular mechanisms of environmental metal neurotoxicity: A focus on the interactions of metals with synapse structure and function. Toxics. 2021;9(9):198. https://doi.org/10.3390/toxics9090198. PMID: 34564349; PMCID: PMC8471991.
10. Yan LJ, Allen DC. Cadmium-induced kidney injury: Oxidative damage as a unifying mechanism. Biomolecules. 2021;11(11):1575. https://doi.org/10.3390/biom11111575. PMID: 34827573; PMCID: PMC8615899.
11. Carageorgiou H, Tzotzes V, Sideris A, Zarros A, Tsakiris S. Cadmium effects on brain acetylcholinesterase activity and antioxidant status of adult rats: Modulation by zinc, calcium and L-cysteine co-administration. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology. 2005;97(5):320–324. https://doi.org/10.1111/j.17427843.2005-.pto_174.x. PMID: 16236145.
12. Ibiwoye MO, Snyder EA, Lyons J, Vasauskas AA, Hernandez MJ, Summerlin AR, et al. The effect of short-term exposure to cadmium on the expression of vascular endothelial barrier antigen in the developing rat forebrain and cerebellum: A computerized quantitative immunofluorescent study. Cureus. 2022;14(4):e23848. https://doi.org/10.7759/cureus.23848. PMID: 35402117; PMCID: PMC8986507.
13. Méndez-Armenta M, Ríos C. Cadmium neurotoxicity. Environmental Toxicology and Pharmacology. 2007;23(3):350–358. https://doi.org/10.1016/j.etap.2006.11.009. PMID: 21783780.
14. Rahimzadeh MR, Rahimzadeh MR, Kazemi S, Moghadamnia AA. Cadmium toxicity and treatment: An update. Caspian Journal of Internal Medicine. 2017;8(3):135–145. https://doi.org/10.22088/cjim.8.3.135. PMID: 28932363; PMCID: PMC5596182.
15. Osman IM, Mohammad FK. Pharmacological and toxicological challenges reveal the depressant action of cadmium in rats. Iraqi Journal of Pharmacy. 2001;1:80–88.
16. Wilson BW. Cholinesterase inhibition. In: Wexler P, editor. Encyclopedia of toxicology. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier; 2014. pp. 942–951.
17. US EPA. Insecticides. Sources, stressors and responses. Causal Analysis/Diagnosis Decision Information System [CADDIS] – Vol. 2 [Internet]. Washington, DC: Office of Research and Development, EPA; 2017. Available from: https://www.epa.gov/caddis-vol2/insecticides
18. Choudri BS, Charabi Y. Pesticides and herbicides. Water Environment Research. 2019;91(10): 1342–1349. https://doi.org/10.1002/wer.1227.
19. Baynes RE. Ectoparasiticides. In: Riviere JE, Papich MG, editors. Veterinary pharmacology and therapeutics. 10th ed. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell; 2018. pp. 1166–1187.
20. Vale A, Lotti M. Organophosphorus and carbamate insecticide poisoning. Handbook of Clinical Neurology. 2015;131:149–168. https://doi.org/10.1016/B9781.00010--62627-444-0-X
21. Naughton SX, Terry AV Jr. Neurotoxicity in acute and repeated organophosphate exposure. Toxicology. 2018;408:101–112. https://doi.org/10.1016/j.tox.2018.08.011. PMID: 30144465; PMCID: PMC6839762.
22. Chen L, Qu G, Sun X, Zhang S, Wang L, Sang N, et al. Characterization of the interaction between cadmium and chlorpyrifos with integrative techniques in incurring synergistic hepatoxicity. PLoS One. 2013;8(3):e59553. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059553. PMID: 23516638; PMCID: PMC3597607.
23. Singh N, Gupta VK, Kumar A, Sharma B. Synergistic effects of heavy metals and pesticides in living systems. Frontiers in Chemistry. 2017;5:70. https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00070. PMID: 29075624; PMCID: PMC5641569.
24. Guilhermino L, Soares AMVM, Carvalho AP, Lopes MC. Effects of cadmium and parathion exposure on hematology and blood biochemistry of adult male rats. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1998;60(1):52–59. https://doi.org/10.1007/s001289900590. PMID: 9484556.
25. Ecobichon DJ. Pesticide use in developing countries. Toxicology. 2001;160(1–3):27–33. https://doi.org/10.1016/s0300-483x(00)004522-. PMID: 11246121.
26. Dixon WJ. Efficient analysis of experimental observations. Annual Review of Pharmacology and Toxicology. 1980;20:441–462. https://doi.org/10.1146/annurev.pa.20.040180.002301
27. Huang RY, Pei L, Liu Q, Chen S, Dou H, Shu G, et al. Isobologram analysis: A comprehensive review of methodology and current research. Frontiers in Pharmacology. 2019;10:1222. https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01222. PMID: 31736746; PMCID: PMC6830115.
28. Mohammad FK, Al-Zubaidy MH, Alias AS. Sedative and hypnotic effects of combined administration of metoclopramide and ketamine in chickens. Lab Animal. 2007;36(4):35–39. https://doi.org/10.1038/laban0407-35. PMID: 17380147
29. Puig MM, Warner W, Pol O. Intestinal inflammation and morphine tolerance alter the interaction between morphine and clonidine on gastrointestinal transit in mice. Anesthesiology. 2000;93(1):219–230. https://doi.org/10.1097-00000542/00033-200007000. PMID: 10861166
30. Tallarida RJ. Statistical analysis of drug combinations for synergism. Pain. 1992;49(1):93–97. https://doi.org/10.1016-0304/90193-(92)3959F. Erratum in: Pain 1993;53(3):365. PMID: 1594286.
31. Philippe C, Grégoir AF, Thoré ESJ, Brendonck L, De Boeck G, Pinceel T. Acute sensitivity of the killifish *Nothobranchius furzeri* to a combination of temperature and reference toxicants (cadmium, chlorpyrifos and 3,4-dichloroaniline). Environmental Science and Pollution Research. 2018;25(10):10029–10038. https://doi.org/10.1007/s113561278--018-x. PMID: 29380199.
32. Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxics. 2021;9(3):42. https://doi.org/10.3390/toxics9030042. PMID: 33668829; PMCID: PMC7996329.
33. Nemmiche S. Oxidative signaling response to cadmium exposure. Toxicological Sciences. 2017;156(1):4–10. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfw222. PMID: 27803385.

34. Bertin G, Averbeck D. Cadmium: Cellular effects, modifications of biomolecules, modulation of DNA repair and genotoxic consequences (a review). Biochimie. 2006 Nov;88(11):1549–1559. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.10.001. PMID: 17070979.
35. Christensen CW, Fujimoto JM. Tolerance to cadmium in the abdominal stretch response: A comparative study of cadmium and acetic acid. Journal of Toxicology and Environmental Health. 1983;11(4–6):739–748. https://doi.org/10.1080152873983095303 81/. PMID: 6225878.
36. Osman IM, Mohammad FK. Neurobehavioral effects of intraperitoneal cadmium administration in rats. In: VIII International Symposium on Ecology and Environmental Problems. Canakkale, Turkey; 2017 October 4–7 (abstract book: 250).
37. Mohammad FK, Al-Baggou BK, Tawfeek FK. Interaction of cadmium with xylazine in mice: Locomotor activity and plasma glucose concentration. Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2000;13(1):23–33.
38. Uehara H, Aoki Y, Shimojo N, Suzuki KT. Depression of serum cholinesterase activity by cadmium. Toxicology. 1985;36(2–3):131–138. https://doi.org/10.1016483-0300/x(85)900472-. PMID: 4049426.
39. Oboh G, Adebayo AA, Ademosun AO, Olowokere OG. Rutin restores neurobehavioral deficits via alterations in cadmium bioavailability in the brain of rats exposed to cadmium. Neurotoxicology. 2020;77:12–19. https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.12.008. PMID: 31836556.
40. Del Pino J, Zeballos G, Anadon MJ, Capo MA, Díaz MJ, García J, et al. Higher sensitivity to cadmium induced cell death of basal forebrain cholinergic neurons: A cholinesterase dependent mechanism. Toxicology. 2014;325:151–159. https://doi.org/10.1016/j.tox.2014.09.004. PMID: 25201352.
41. World Health Organization. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition [Online]. Geneva: World Health Organization; 2020. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.10
المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 14

ورقة بحثية

المرشحات المتداخلة: تقنية بيئية منخفضة التكلفة لمعالجة المياه العادمة اللامركزية وإعادة استخدامها

علي محسن[1]، سمية بلوافا[1]، سليمان الحرفاوي[1]، زكية زميرلي[2]، خالد ديكا[1]، حسن الشاعر[1*]

[1] كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الحسن الثاني، المحمدية، المغرب
[2] كلية العلوم، جامعة ابن طفيل، القنيطرة، المغرب
Email: hassan.chaair@univh2c.ma *

الملخص

صُمّم نظام المرشحات المتداخلة بوصفه مرشحاً حيوياً قائماً على قدرات التربة الفيزيوكيميائية والأحيائية لمعالجة ملوثات المياه العادمة، ويتميز من باقي الأنظمة الطبيعية المماثلة بحاجات أقل إلى الطاقة والمساحة والصيانة، وإمكانية إعادة استعمال المياه المعالجة في الموقع نفسه. يتكون النظام من طبقتين متباينتين من حيث المواد المستخدمة والمسامية: طبقات خليط التربة والطبقات النفاذة، المرصوصة في شكل يشبه اللبنات؛ حيث مكّن هذا التصميم البارع من تقليص احتمالية انسداد النظام، وزيادة قدرته على تلقّي أحجام كبرى من المياه العادمة، مع ازدواجية الظروف الهوائية واللاهوائية داخله؛ الشيء الذي أكسبه قدرات معالجة متقدمة لمختلف الملوثات بمختلف أنواع المياه العادمة اللامركزية. يهدف هذا البحث إلى التعريف بنظام المرشحات المتداخلة بوصفه تقنية بيئية صاعدة، حيث يلخص مبدأ عمله، وأدوار المواد المكونة له، وآليات معالجة مختلف الملوثات. ويستعرض نتائج بعض الاستخدامات الموفقة لهذا النظام عبر عدد من دول العالم، ونتائج دراسة التكلفة المنجزة التي أكدت انخفاض تكلفة بنائه، والتي لا تتعدى 80 دولاراً أمريكياً لمعالجة متر مكعب من المياه العادمة في اليوم لمدة 20 سنة متواصلة من الاستخدام. وأخيراً، يُظهر البحث، بناء على مقارنات بأنظمة مماثلة، مكامن القوة التي تجعل من هذا النظام بديلاً مستقبلياً ومستداماً للدول النامية كدول أفريقيا.

الكلمات المفتاحية: نظام المرشحات المتداخلة، معالجة المياه العادمة اللامركزية، تنقية المياه المستعملة المنخفضة التكلفة.

Title

Multi-soil layering (MSL): A low-cost eco-technology for decentralized wastewater treatment and reuse

Ali Mohssine[1], Soumia Belouafa[1], Slimane El Harfaoui[1], Zakia Zmirli[2], Khalid Digua[1], Hassan Chaair[1*]

[1] Faculty of Sciences and Technology, University Hassan II, Mohammedia, Morocco
[2] Faculty of Sciences, University Ibn Tofail, Kenitra, Morocco

Abstract

Multi-soil layering (MSL) is a wastewater treatment technology based on the advanced physico-chemical and biological abilities of soil to remediate decentralized wastewater pollutants. The MSL system is characterized by low space occupation, reduced maintenance, energetic needs, and offers the opportunity to the on-site reuse compared to similar natural wastewater treatment technologies. MSL is constructed through the succession of heterogeneous layers: soil mixture layers (SMLs) and permeable layers (PLs) in a brick-like configuration. This ingenious design enabled the system to sustain high hydraulic loads and minimized clogging risks with the coexistence of aero/anaerobic condition and to acquire advanced purifying capabilities for several decentralized wastewater types. This work aims to introduce MSL as an emerging Eco-technology, summarizes the operating principle, function of used materials, and removal mechanisms through the system. Moreover, this paper displays some successful applications across different countries and confirms the low-cost character of the system through an economical analysis that sets the construction cost in less than 80 US$ to treat 1m^3/day during 20 consecutive years of operation. Finally, this study enumerates the MSL strengths in comparison to conventional technologies as a future sustainable alternative for developing nations such as the African countries.

Keywords: Multi-soil layering system, decentralized wastewater treatment, low-cost wastewater treatment

Received 20 February 2022; accepted 20 June 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

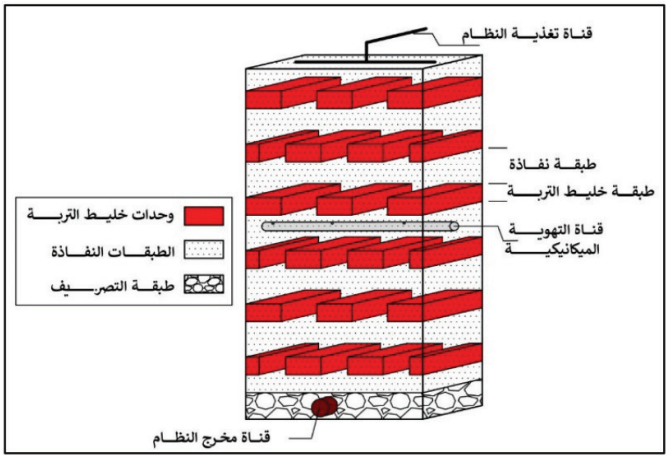
Cite this as: Mohssine A, Belouafa S, El Harfaoui S, Zmirli Z, Digua K, Chaair H. Multi-soil layering (MSL): a low-cost eco-technology for decentralized wastewater treatment and reuse. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.10. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.10

1- المقدمة

تعاني معظم الدول النامية عبر العالم من قلة الموارد المائية السطحية والباطنية وتلوثها، في حين تؤدي التغيرات المناخية دوراً مهماً في تفاقم هذا الوضع.[1] وعلاوة على ذلك، يُعد التفريغ العشوائي للمياه المستعملة من دون معالجة في البيئة المحيطة من بين العوامل المؤثرة سلبياً في جودة الموارد المائية؛ السطحية والباطنية.[2، 3] تحتوي المياه العادمة على حمولات ملوثة من الآزوت والفسفور التي تعتبر من المغذيات التي تسبّب التكاثر السريع للطحالب المسؤولة عن اختناق الأوساط المائية وموت كائناتها.[4] وتحتوي أيضاً على مواد عالقة وغروية تؤدي إلى نقص مسامية التربة وانسدادها، ثم على ملوثات ذات أصل بيولوجي تتمثل في فيروسات، وبكتيريا، وطفيليات ممرضة يشكّل انتقالها إلى المياه خطراً محدقاً يهدد الصحة العامة للأفراد المحاذين لأماكن التفريغ.[5، 6] وقد دفع كل ذلك المجتمع العلمي إلى البحث الدائم عن حلول ناجعة للحفاظ على الموارد المائية، وابتكار أنظمة مستدامة لمعالجة مياه الصرف الصحي. وبالنسبة إلى المدن والمناطق الحضرية، تزود المؤسسات ذات الاختصاص شبكة الصرف الصحي بمحطات تصفية للمياه العادمة ذات التكنولوجيا المتطورة والكفاءة العالية كالحمأة المنشطة، والترشيح النانوي، والتناضح العكسي.[7] لكن تبقى هذه المنشآت باهظة التكلفة، ومستهلكة ضخمة للطاقة الكهربائية، وتحتاج إلى يد عاملة ذات تكوين خاص في تسييرها.[8، 9] أما المناطق المعزولة والمتفرقة البعيدة عن الشبكات المركزية لتصريف المياه العادمة، فيضطر أغلبها إلى عمل حُفر صحية أو تمديد قنوات المنازل وتصريفها في المجاري المائية المجاورة؛ الشيء الذي ينعكس سلبياً على البيئة المجاورة ويتسبب في تلوثها وتدمير مكوناتها.[10، 11] ويستوجب كل هذا إيجاد تقنيات وحلول بديلة لمعالجة هذه المياه اللامركزية، تمتاز بالكفاءة وانخفاض التكلفة في إنشائها وتسييرها في الوقت ذاته، ليتبنّاها صناع القرار في هذه المناطق ذات الميزانيات المحدودة عادة.[12]

تُعدّ تقنيات تنقية المياه العادمة الطبيعية من أهم الحلول البديلة لمعالجة مياه الصرف الصحي اللامركزية في المناطق القروية المعزولة والنائية.[13، 14] لكن تبقى تلك المعتمدة على التربة كوسط ترشيح ذات تطبيقات محدودة.[15] في أوائل التسعينيات، ساهم فريق من الباحثين في اليابان في إخراج نظام معالجة جديد يُدعى «المرشحات المتداخلة»، مكّن من إعادة استخدام التربة في معالجة المياه العادمة في نسق خفّف من القيود المتعارف عليها، حيث تمكّن الباحثون من رفع الصبيب اليومي المعالج إلى أربعة أمتار مكعبة لكل متر مربع من النظام في اليوم ($4m^3/m^2/d$) من دون مشاكل تذكر.[15، 16] إلى جانب ذلك، يمتاز هذا النظام باعتماده على مواد صديقة للبيئة، بانخفاض تكلفته، وقلة انبعاثاته، وشغله مساحات أصغر، ثم استدامته وطول عمره الذي قد يصل إلى 20 سنة من الاستخدام المتواصل مقارنة بالتقنيات الطبيعية المماثلة.[17، 18] وتتكون بنية نظام المرشحات المتداخلة من تسلسل عمودي وأفقي لنوعين من الطبقات: طبقات خليط التربة، والطبقات النفاذة، كما هو موضح في الشكل (1).[15، 19] ومنذ بروز هذه التقنية، جرى تطبيقها على مستوى المختبر وعلى أرض الواقع لمعالجة العديد من أنواع المياه العادمة والملوثات المنزلية والصناعية؛ حيث أثبتت كفاءتها من حيث إنقاص مؤشرات التلوث العضوي؛ الكيميائي والبيولوجي.[20-23] ولم يقتصر دورها على المعالجة فحسب، بل أثبتت فاعليتها كذلك في توفير إمكانية إعادة استعمال المياه المصفاة في الموقع نفسه لأغراض عدة.[24]

تحتل القارة الأفريقية المرتبة الثانية من حيث قسوة المناخ والجفاف بعد أستراليا. ونظراً إلى النمو السكاني المتزايد، فإن الطلب على الموارد المائية في تصاعد مستمر شأنه شأن المياه العادمة المنتجة؛ ما يستدعي إعادة النظر في السياسات المائية ووجوب معالجة المياه العادمة وإعادة استعمالها لحماية الثروات المائية من تسرّبها وتخفيف الضغط المتواصل عليها.[25، 26] قد أبانت التجربة المغربية سهولة تأقلم نظام المرشحات المتداخلة وكفاءته تحت الظروف المناخية شبه القاحلة مع استعمال مواد محلية في بنائه.[22، 24] ولحدود هذا البحث، يقتصر استعمال هذا النظام في القارة الأفريقية على دولة المغرب لحداثته، للتعريف به وتشجيع الباحثين العرب على تطبيقه في مختلف الدول والقارات.



شكل 1. مواصفات ومكونات نظام المرشحات المتداخلة.

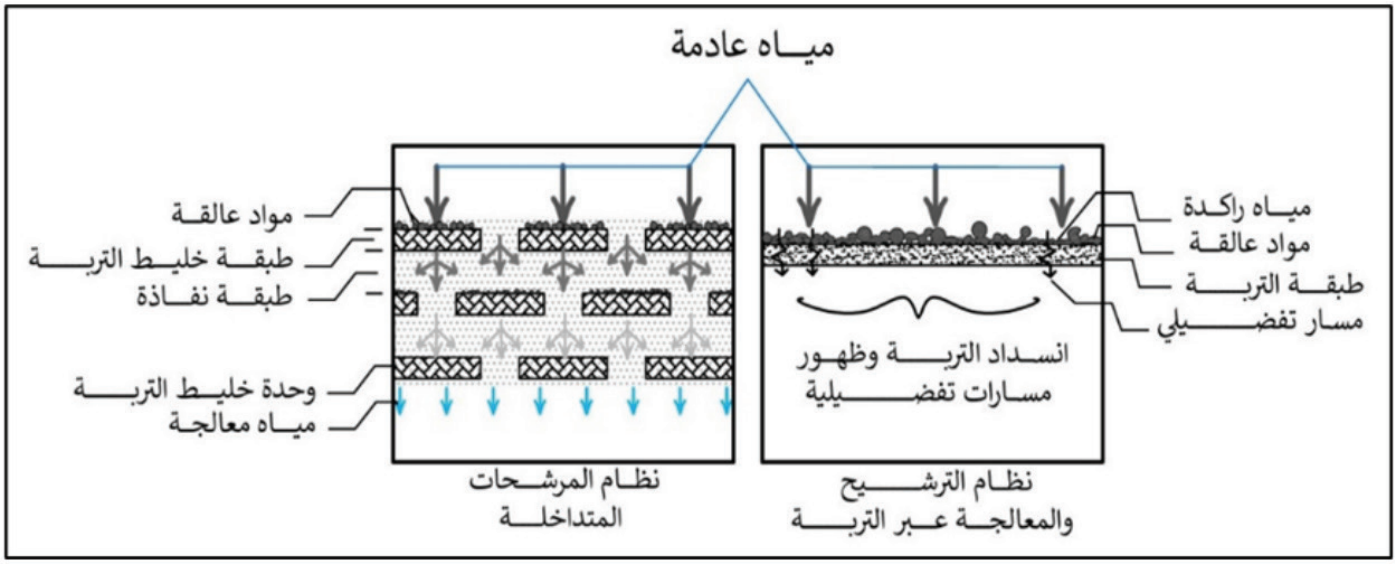
2- أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى التعريف بتقنية المرشحات المتداخلة بوصفها تقنية صاعدة بديلة لمعالجة المياه العادمة اللامركزية في الدول النامية كدول أفريقيا، ويستعرض مبدأ عمل النظام، وأدوار مكوناته وآليات معالجة مختلف الملوثات، ثم يتطرق إلى بعض التطبيقات الناجحة ونتائجها الواعدة في مختلف الدول، وكذا بعض عيوب الاستخدام وطرق التغلب عليها. وأخيراً يستعرض دراسة لتكلفة النظام مبيّناً مكامن القوة التي تجعل منه بديلاً مستقبلياً ومستداماً للتقنيات الكلاسيكية، وحلاً واعداً للدول الراغبة في إقامة أنظمة معالجة للمياه العادمة القروية واللامركزية؛ ليبقى هذا العمل دليلاً للباحثين الحاليين والمستقبليين في هذا المجال ومرجعاً لصنّاع القرار في المناطق المعزولة الراغبين في إقامته.

3- مبدأ عمل النظام

تُعتبر التربة وسطاً حياً غنياً بالتنوع البيولوجي، ولها خصائص فيزيائية كيميائية وأحيائية متنوعة مكّنتها من احتلال مرتبة متقدمة في مجال معالجة المياه العادمة.[27، 28] وقد أبانت عدة أنظمة قائمة على التربة فاعليتها في إزالة ملوثات عدة أنواع من المياه العادمة، نذكر منها المناطق الرطبة الطبيعية والمشيّدة، وخنادق التربة وغيرها.[13، 29، 30] ورغم هذه الإنجازات، فإن هذه التقنيات تبقى معرّضة لخطر الانسداد وتستوجب في أحسن الأحوال مدّها بصبيب ضعيف للتقليل من الأحمال الواردة عليها لتفادي ذلك؛ الشيء الذي يجعلها في حاجة إلى مساحات أكبر وإلى إصلاحات متكررة ترفع من قيمة الإنشاء والاستغلال.[31، 32] عمل الفريق الياباني على إيجاد نظام المرشحات المتداخلة معتمداً على تصميم متميز مكّن المستخدم من استغلال خصائص التربة المتعددة في معالجة مياه الصرف الصحي مع احتمال انسداد قليل

جداً.[15] ويتكون النظام من طبقة خليط التربة المحصل عليها بمزج 70% من التربة مع 10% من نشارة الخشب، و10% من فحم الخشب، و10% من برادة الحديد (بنسب الوزن الجاف)؛[15،33] إذ يضاف الحديد والمواد العضوية السالفة الذكر من أجل تحسين خصائص التربة في المعالجة ودعم النشاط الأحيائي لهذا الجزء من النظام.[19] ويحيط بطبقات خليط التربة طبقات نفاذة من أحجار الزيوليت بحجم يتراوح بين 1 إلى 5 ملم، وذلك لخفة وزنها وقدرتها المتقدمة على التبادل الكاتيوني وتشتيت المياه داخل النظام وتفادي الانسداد.[32-34] وكما هو مبين في الشكل (2)، تتعاقب هذه الطبقات فيما بينها في نسق يشبه اللبنات يسمح للماء بالتوغل داخل خليط التربة أو بملامسته والمرور إلى الطبقة الموالية إن تعذّر ذلك.



شكل 2. مبدأ عمل نظام المرشحات المتداخلة.

وهذا يسمح للمياه الداخلة بقضاء وقت مطول داخل النظام، ومن ثم معالجة جل ملوثاته مع أقل احتمال للانسداد، على عكس أنظمة الترشيح الكلاسيكية عبر التربة التي تتقلص نفاذيتها بسرعة مع تراكم المواد العضوية وغير العضوية العالقة (Suspended solids) في المياه العادمة.[15،33] ويساهم نقص النفاذية في ظهور اختصارات ومسارات تفضيلية، وركود للمياه على السطح إلى حين الانسداد الكلي والفشل الكامل للنظام.[35]

4- مكونات النظام وأدوارها

4-1 طبقات خليط التربة

4-1-1 التربة

استخدمت عدة حضارات قديمة التربة وسطًا لترشيح المياه العادمة ومعالجتها، وذلك بحفر خنادق طويلة وغمرها بالمياه الملوثة إلى حين تطهيرها.[28] ومع تطور العلوم، أُخضعت التربة للاختبار ليتبين امتلاكها قدرة تنقية ذاتية تُعزى إلى خصائصها البيولوجية والفيزيوكيميائية المتنوعة، والتي تختلف بحسب نوعها (رملية، طينية، طمي). وتُمكن بنية التربة ومساميتها من استعمالها وسطًا للترشيح قادرًا على عزل الأجسام الصلبة من المياه العادمة.[27] وتعتبر التربة كذلك مأوى للعديد من أنواع الكائنات المجهرية والبكتيريا النشطة القادرة على تحليل المواد العضوية وغير العضوية الملوثة (الشكل 3)، وتتميز بعض الأنواع منها كالأنديزول (Andisol) بقدرتها على مسك وترسيب الفوسفور قد تصل إلى غرام من الفسفور لكل كيلوغرام من التربة.[15،36] ومن أجل كل ما سبق، ولكونها مادة منخفضة التكلفة ومتوافرة بكثرة، جرى اختيار التربة لتكون المكون الرئيسي لنظام المرشحات المتداخلة مع مزجها بمواد عضوية وبجزيئات الحديد لزيادة كفاءتها في معالجة المياه المستعملة.[17]

4-1-2 المواد العضوية

لقد أبانت التجارب أن إضافة بعض المواد العضوية إلى التربة يحسّن من خصائصها الأحيائية والفيزيائية؛ حيث تتطور وتتحسن بعض الخصائص المهمة كالنفاذية والتوصيل الهيدروليكي، والامتصاص والامتزاز (Adsorption).[15] وبالنسبة إلى نظام المرشحات المتداخلة، فقد قام العديد من الباحثين بتجربة مواد عضوية كثيرة كنشارة الخشب، وألياف قصب السكر، وألياف ثمرة جوز الهند، والجوت (Jute)، وقشور الأرز. ويرجع هذا الاختيار إلى كون هذه المواد ذات أصل نباتي تعتبر ممتزاتٍ منخفضةَ التكلفة، وملجأً للبكتيريا المطهرة، ومصادر غنية بالكربون الذي تحتاجه البكتيريا النازعة للنيتروجين لتخليص الماء من النترات (الشكل 3). ويضاف أيضاً إلى طبقة مزيج التربة الفحم الطبيعي المعروف بخصائصه الطاردة للماء ومساميته الكبيرة التي تساهم في عزل الملوثات إلى حين تفكيكها بواسطة النشاط الحيوي للخليط.[37،38]

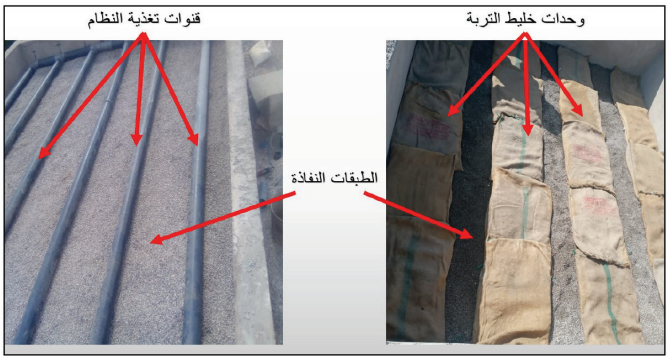
شكل 3. مميزات وأدوار مواد نظام المرشحات المتداخلة.

3-1-4 جزيئات الحديد

يضاف إلى طبقات خليط التربة جزيئات الحديد من أجل تقوية قدرة التربة على مسك الفوسفور الذائب في المياه العادمة، نظراً إلى المشاكل البيئية التي قد تنتج من طرحه في الطبيعة من دون معالجة؛ حيث تختلف قدرات التربة بحسب أنواعها في مسك وتثبيت الفوسفور.[15] وفي ظل الظروف الهوائية، تتأكسد أيونات الحديد (Fe^{2+}) القادمة من برادة الحديد المضاف إلى (Fe^{3+}) والتي تعمل على مسك الفوسفور وترسيبه على شكل هيدروكسيدات غير قابلة للذوبان.[27، 33]

2-4 الطبقات النفاذة

تحيط بطبقات خليط التربة عمودياً وأفقياً طبقات نفاذة تتكون من مواد ذات حجم كبير، وكتلة حجمية خفيفة، وقدرة متقدمة على التبادل الأيوني كالزيوليت، والبيرليت، والخفاف من أجل امتزاز بعض الملوثات كالأمونيا.[39] وتسود في هذه الطبقات ظروف هوائية تساعد على تكثيف نشاط البكتيريا الهوائية، وتعزيز قدرة النظام على معالجة الفسفور والآزوت.[27، 33] وتساهم كذلك هذه الطبقات في التشتيت الجيد للمياه العادمة داخل النظام من أجل زيادة التلامس بينها وبين مكونات مختلف الطبقات؛ مما يدعم قدرات النظام على المعالجة ويقلل احتمالية انسداده (الشكل 4).[15، 33] وقد أبانت التجارب أن حجم جزيئات هذه الطبقة يجب أن يُراوح ما بين 1 و 5 ملمترات مع الزيادة في علوها ما أمكن من أجل كفاءة قصوى.[21، 32، 34]



شكل 4. أحد تطبيقات نظام المرشحات المتداخلة لمعالجة المياه المنزلية العادمة بمدينة مراكش، المغرب.

5- أخطار ملوثات المياه العادمة وآليات معالجتها

تتميز المياه العادمة، المنزلية والصناعية، باحتوائها على أحمال عالية من المواد العضوية السهلة (Biodegradable)، والصعبة المعالجة (Non-biodegradable) عن طريق أنظمة المعالجة البيولوجية، وتختلف حمولة المياه العادمة من هذه المواد باختلاف المصدر والنشاط.[40، 41] لذا، ينتج من تفريغ هذه المواد من دون معالجة مسبقة تقليلُ مسامية التربة، واستهلاك الأكسجين والتسبب في اختناق الأوساط المائية.[42] وتحتوي هذه المياه كذلك على تراكيز مختلفة من المغذيات كالفسفور والآزوت، اللذين يعتبران عنصرين مهمين لنمو النباتات، إلا أن تدفقهما إلى الأوساط المائية يساهم على نحو كبير في تلوثها ونمو الطحالب نمواً متسارعًا (Algae bloom) يؤدي إلى اخضرارها ونقص الأكسجين الضروري لعيش مختلف الكائنات فيها.[43] كما قد يتسبب تسربها إلى المياه الجوفية والسطحية في تسمم الإنسان، والتسبب في أضرار وخيمة على الصحة العامة.[44] وعلاوة

على ما سبق، تحتضن المياه العادمة، بمختلف أنواعها، كائنات مجهرية ممرضة؛ من بكتيريا، وفيروسات، وطفيليات، وفطريات تنتقل وتتكاثر بسهولة في الأوساط المختلفة كالتربة والمياه، وعند ملامسة الإنسان لها تتسبب في أمراض معوية (Enteric diseases)، وجلدية، وباطنية قد تؤدي إلى الوفاة.[45-47] ونذكر على سبيل المثال لا الحصر: حمى التيفوئيد (Salmonellosis)، والبلهارسيا (Schistosomiases)، والجيارديا (Giardiasis) ... إلخ. ويمكن أن تحتضن مياه الصرف الصحي بقايا مواد سامة، وهرمونات ومضادات حيوية قد تتسبب عند انتقالها في أضرار بليغة على المدى القريب والبعيد للبيئة والإنسان معاً.[48، 49]

وفيما يلي نستعرض مختلف آليات المعالجة الممكنة عبر تقنية المرشحات المتداخلة لإزالة مختلف ملوثات المياه العادمة، والتقليل من أضرارها على مختلف مكونات البيئة.

5-1 المواد العضوية

في بادئ الأمر، تتدفق المياه العادمة عمودياً عبر الطبقات العليا للنظام ليتم احتجاز المواد العضوية عن طريق الترشيح والامتزاز على سطح مواد المرشح. ثم يأتي دور النشاط البكتيري من أجل تحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وطاقة من أجل تكاثرها.[35] وتتميز الطبقات العلوية من النظام بالنشاط الحيوي المكثف الراجع إلى توافر الأكسجين الناتج من التبادل الغازي مع الهواء، ووفرة المغذيات المحمولة عبر المياه المستعملة؛ حيث بلغت نسبة إزالة الطلب على الأكسجين البيولوجي (BOD) 80% عبر المرور بثلاث طبقات من خليط التربة فقط. وفي ظل هذه الظروف المناسبة، يتم تحرير الآزوت والفسفور من المركبات العضوية وتحويلهما إلى مركبات غير عضوية سيتم التطرق إلى مصيرها لاحقاً. وقد أبانت التجربة أن إزالة الطلب على الأكسجين الكيميائي (COD) تلزمها أكثر من ثلاث طبقات نظراً إلى احتوائها على مواد صعبة التحلل عن طريق التنفس البيولوجي.[37] ومن أجل دعم الأنشطة الإنزيمية للبكتيريا داخل النظام، أجرى عدة باحثين تهوية ميكانيكية إضافية لتوفير تراكيز أكبر من الأكسجين كفيلة برفع مستويات تحلل وإزالة المواد العضوية من المياه المصفّاة.[33، 50]

5-2 الآزوت/ النيتروجين

تتميز طبقات خليط التربة بمسامية منخفضة تجعلها تضم مناطق هوائية ولاهوائية في الوقت نفسه، تختص كل منها بمرحلة من مراحل معالجة الملوثات، كما تتميز الطبقات النفاذة بسيادة الظروف الهوائية داخلها وامتلاك جزيئاتها قدرة على التبادل الأيوني تمكّنها من تثبيت جزيئات الأمونيا (NH_4^+) على سطحها كمرحلة أولية. ثم تقوم البكتيريا المختصة تحت الظروف الهوائية بأكسدة هذه الأمونيا إلى نتريت (NO_2^-) ثم إلى نترات (NO_3^-)، وتسمى هذه العملية بالنترجة.[27، 51] وبالاستعانة بالكربون الذي توفره المواد العضوية المضافة إلى طبقات التربة وتحت الظروف اللاهوائية، تقوم أنواع من البكتيريا بتفكيك جزيئات النترات وأكسدتها لغازات النيتروجين (N_2) و(N_2O)، وتسمى هذه العملية بعملية نزع النيتروجين.[52] وتعتبر عمليتا النترجة ونزع النتروجين محددتَين لكفاءة النظام في إزالة الآزوت من المياه العادمة، وتحتاجان إلى توافر الظروف السالفة الذكر ووجود البكتيريا المنترجة لأكسدة الأمونيا ثم البكتيريا النازعة للنيتروجين لأكسدة النترات.[35]

5-3 الفسفور

تُضاف جزيئات الحديد إلى طبقات خليط التربة منذ بناء هذا النظام؛ من أجل تقوية قدرات التربة على مسك الفوسفور الذي يُعتبر من المغذيات التي يسبب تسربها إلى الأوساط المائية في انتشار متسارع للطحالب التي تشكّل طبقة داكنة تمنع تسرب أشعة الشمس وتساهم في اختناق وتدمير الأحياء المائية.[43] وفي ظروف هوائية، تتأكسد أيونات الحديد الثنائي (Fe^{2+}) داخل طبقات التربة وتهاجر نحو الطبقات النفاذة لتتأكسد مرة أخرى تحت الظروف الهوائية إلى أيونات الحديد الثلاثي (Fe^{3+}). وعند تدفق المياه العادمة عبر النظام، تتفاعل جزيئات الفسفور مع أيونات الحديد وتُحتجز على شكل ترسبات ($Fe(OH)_3$) ليتم احتجازها داخل النظام. ويمكن كذلك معالجة الفسفور عن طريق امتزازه على هيدروكسيدات الحديد المتكونة داخل النظام أو عن طريق استهلاكه من طرف البكتيريا لكونه مكوناً أساسياً لجزيئات الطاقة.[15، 33، 35]

5-4 الكائنات المجهرية الممرضة

تعتبر المياه العادمة مرتعاً خصباً للكائنات المجهرية الممرضة التي تنتقل عبر الملامسة. وتعد حمولة المياه المعالجة من هذه الكائنات معياراً لتحديد استعمالاتها من طرف القوانين الجاري العمل بها. وبصفة عامة، تُعزى معالجة الميكروبات عن طريق أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي القائمة على التربة إلى ظاهرة الترشيح بواسطة مسامية المواد المستعملة، ثم إلى الظروف غير الملائمة التي تتسبب في موتها.[53] وإضافة إلى ذلك، يؤدي الامتزاز دوراً مهماً في التصاق الخلايا المجهرية بمواد المرشح وشل حركتها إلى حين نفوقها. وقد أكدت التجربة أن نظام المرشحات المتداخلة يمتاز بقدرة متقدمة على معالجة هذه الكائنات؛ نظراً إلى استعمال مواد ذات قوة امتزاز وامتصاص عاليتين، إضافة إلى كون الظروف الهوائية داخل الطبقات النفاذة تساعد على نمو كائنات منافسة ومفترسة لها.[22، 54]

6- استخدامات النظام

في أوائل التسعينيات، طُبّق أول نظام للمرشحات المتداخلة لمعالجة المياه العادمة لأحد المنازل بمدينة ماتسو اليابانية، حيث أظهر النظام فاعليته في معالجة مختلف الملوثات.[15] وبعد ذلك، قامت مجموعات من الباحثين بتطبيقه لمعالجة أنواع عدة من مياه الصرف الصحي والملوثات المنزلية والصناعية. ولم يبقَ النظام حبيس دولة اليابان، بل جرى تعميمه على العديد من الدول الآسيوية كتايوان،[39] وتايلند،[19] والصين،[55] وإندونيسيا،[56] ثم جزر هاواي في أمريكيا،[23] والمغرب في أفريقيا.[22] ويستعرض جدول (1) بعض التطبيقات المختلفة التي عرفها نظام المرشحات المتداخلة، سواء على مستوى المختبر أو على أرض الواقع، حيث تتضح جلياً كفاءته من خلال النتائج الواعدة لمعالجة الطلب على الأكسجين البيوكيميائي، والآزوت، والفسفور، والبكتيريا الممرضة وبعض المواد الأخرى كبقايا المضادات الحيوية والبوليفينولات بمادة المرجين، مع الحفاظ على صبيب ملائم يجعل متطلبات النظام منخفضة من حيث المساحة المشغولة مقارنة بالأنظمة المماثلة. ويشير التطبيق الناجح للنظام عبر القارات والدول المختلفة إلى عدم تأثره بالعوامل المناخية؛ حيث إنه حافظ على مستويات معالجة متقدمة تحت ظروف المناخ الاستوائي، وشبه الاستوائي، وشبه الاستوائي الرطب في أمريكيا وآسيويا، وشبه القاحل في أفريقيا.

جدول 1. استخدامات نظام المرشحات المتداخلة لمعالجة المياه العادمة

مصدر المياه العادمة	الصبيب م^3/م^2/يوم	نسب المعالجة							الدولة	المرجع
		الطلب على الأكسحين البيوكيميائي (BOD)/ الطلب على الأكسحين الكيمائي (COD)	الأمونيا	الآزوت الكلي	الفسفور الكلي	البكتيريا الممرضة *Pseudomonas sp, Staphylococcus sp Clostridium sp Escherichia coli* ...	ملوثات أخرى			
منزلي	0.92 -0.44	%95.2 90.3- (COD)	%86.9 -85.1	%63.8-58.9	%94.0-92.0	-	-	الصين	55
صناعة الأجبان	0.505-0.178	-	-	%96 (الآزوت اللاعضوي)	%99	-	-	جزر هاواي في أمريكا	23
مطرح نفايات قروي	0.6-0.2	%97.4-62.3 (COD)	%82.4-53.4	-	%91.9-75.6	-	-	الصين	32
مياه سطحية ملوثة	4-1	%83.5-72.2 (BOD)	-	%50.5-22.4	%66.8-51.9	-		اليابان	34
منزلي	0.2	(BOD) %86 (COD) %81		%78	%80	أكثر من وحدة لوغاريتمية	-	المغرب	22
مياه مقصف الجامعة	0.23	(BOD) %90 (COD) %70	%76	91%	%90	-	-	تايلند	19
مياه معصرة الزيتون (مرجين)	0.1	%82.63-54.39 (BOD) %91.76-85.03 (COD)	%98.58-69.25	-	-55.46 %90.06	-	المركبات الفينولية %100-91.47	المغرب	20
مياه تربية الدواجن	0.32	-	-	-	-	-	بقايا المضادات الحيوية (سلفاميثوكسازول) %91-52.3	الصين	49

7- بعض عيوب النظام وطرق التغلب عليها

لقد تمكّن نظام المرشحات المتداخلة من تجاوز القيود التي لازمت استعمال التربة كوسط لمعالجة المياه العادمة بكفاءة،[15، 17] إلا أنه كباقي الأنظمة، تبقى استدامته رهينة بمدى تطبيق شروط البناء والاستخدام للاستفادة من كفاءته في أحسن الظروف وإطالة عمره الافتراضي.[17، 37] وفيما يلي، سنتطرق إلى بعض عيوب هذا النظام انطلاقاً من التجارب المخبرية والتطبيقات الفعلية، ثم إلى الاحتياطات الواجب اتخاذها أثناء البناء والاستخدام تفادياً للأعطال المتكررة، وذلك من أجل استخدام مستدام.

كأيّ نظام تصفية بيولوجي، يتأثر نظام المرشحات المتداخلة بالظروف المناخية كانخفاض الحرارة إلى أقل الدرجات؛ ما يكبح النشاط البيولوجي ويؤثر سلبياً في فاعلية النظام. وكإجراء وقائي، يُنصح بدفن النظام لتخفيف

تأثير انخفاض درجات الحرارة والمحافظة على دفئه خلال هده الفترات، كما يُوصى بتطبيق التهوية الدورية لتنشيط الكائنات الدقيقة المسؤولة عن التصفية خلال الفترة نفسها.[17، 18، 35] وخلال بناء النظام، يتعيّن على المشرفين اختيار مواد ذات نفاذية عالية؛ تفادياً للانسداد المبكر الذي ينتج من استعمار الفضاءات الخلالية (Interstitial spaces) من طرف المواد العالقة والإفرازات البيولوجية.[34، 37] وعلاوة على ذلك، لوحظ أن الاستخدام المطول للنظام من دون تهوية ميكانيكية وفترات راحة يؤدي إلى الانسداد وتقليص مردودية التنقية إلى أدنى المستويات. ودرءاً لذلك، يُستحسن اعتماد كتلة حجمية في حدود 0.9-1.2 غم/ سم^3 لخليط التربة من أجل مسامية كافية،[17، 38] كما ينصح بتطبيق تهوية دورية وفترات استراحة للنظام من أجل تكثيف النشاط البيولوجي واستهلاك المواد العضوية المتراكمة داخل النظام لتحرير المسامية المستعمرة واسترجاع قدرات التصفية.[27، 36] كما يُنصح باعتماد نظام معالجة قبلي لتخفيف حمل المواد الغروية والعالقة في المياه العادمة الموجهة للنظام.[16] وأثناء تطبيق التهوية الميكانيكية، يراعى في ذلك اعتماد صبيب معتدل ودوري لكونه يؤدي دوراً في تنشيط المعالجة البيولوجية الهوائية للملوثات، في حين أن التراكيز الكبيرة تحد من الأنشطة اللاهوائية للمعالجة كعملية نزع النيتروجين.[27، 36] وتؤدي التهوية الميكانيكية دوراً مهماً في استدامة النظام وتكثيف النشاط الأحيائي لمعالجة مختلف الملوثات،[35، 38] إلا أنها تشكّل عبئاً مادياً على المستغلين النهائيين لتسديد فاتورة الكهرباء. ويستهدف الانتقال الطاقي المنشود في مختلف دول العالم استبدال المصادر التقليدية بأخرى مستدامة لتخفيف الضغط على الموارد الطبيعية وتقليل بصمة الكربون لمختلف الصناعات والطرائق. وفي هذا الصدد، اعتمدت عدة دراسات مصادر متجددة مختلفة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح لتوفير الاحتياجات الطاقية الكلية للعديد من أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي.[57، 58] وعلى غرار ذلك، جرى اعتماد نظام تدفئة يعتمد على الإشعاع الشمسي لتسخين المياه العادمة قبل دخولها إلى خزان الصرف الصحي المرتبط بنظام المرشحات المتداخلة؛ الشيء الذي أكسب النظام قدرات عالية على تنقية المياه العادمة المنزلية من دون الحاجة إلى التهوية، كما مكّنه من التوافق مع معايير الجودة (ISO 30500) لتصفية المياه العادمة.[59] ومن هذا المنطلق، نثمّن هذه المجهودات وندعو الدراسات المستقبلية إلى الانفتاح على الطاقة الشمسية وطاقة الرياح عبر توربينات الرياح والخلايا الكهروضوئية لتوفير الطاقة.

8- دراسة التكلفة

يعتمد نظام المرشحات المتداخلة في بنائه على مواد صديقة للبيئة منخفضة التكلفة، يمكن إعادة تدويرها بسهولة بعد انتهاء العمر الافتراضي للنظام.[15، 17] ويُعتبر بعض هذه المواد مخلفات أو منتوجات ثانوية لصناعات أخرى يمكن الحصول عليها بأثمنة رمزية سنحدد قيمتها بحسب السوق المغربية، وسيُعبَّر عنها فيما يلي بعملة الدولار الأمريكي (US$). بالنسبة إلى جزيئات الفحم الطبيعي، يتراوح حجم الجزيئات المطلوبة بين 1 و2 ملمتر، وبالنظر إلى الطلب على القطع الكبيرة فقط من أجل التدفئة والطهي يمكن الحصول على الحجم المطلوب بنحو 250 دولاراً/ طن. أما فيما يخص نشارة الخشب، فتباع بثمن زهيد في مصانع الخشب وورشات النجارة المحلية للأفران ويمكن الحصول عليها بنحو 50 دولاراً/ طن، كما يمكن الحصول على خردة الحديد من مخلفات ورشات الخراطة ومصانع الحديد مقابل 300 دولار/ طن.

أكد عدة باحثين على إمكانية بناء نظام المرشحات المتداخلة بالاعتماد على مواد محلية فحسب بالخاصيات نفسها.[38] وبالنسبة إلى الطبقات النفاذة، استبدل بعض الباحثين أحجار الزيوليت التي تعتبر منتوجاً دخيلاً يجب استيراده ويُراوح ثمنه بين 100 و150 دولاراً/ طن بحصى مقالع مواد البناء (Gravel)،[20، 22] الذي يمكن الحصول عليه بـ 50 دولاراً/ طن فقط، مع إبقاء النظام على كفاءته المعهودة في المعالجة. وفيما يلي، سنتطرق إلى دراسة اقتصادية لتكلفة النظام لمعالجة المياه المستعملة لمنزل واحد مكون من أسرتين يبلغ حجم المياه العادمة المنتجة متراً مكعباً واحداً في اليوم. وبالنسبة إلى التدفق الهيدروليكي السطحي، فقد جرى اختيار متر مكعب واحد لكل متر مربع من المرشح في اليوم ($1m^3/m^2/d$) للعمل بنصف قدرات النظام من أجل رفع عمره الافتراضي الذي قُدّر بـ 20 سنة من الاستخدام المتواصل،[17] لتكون المساحة التي سيشغلها النظام هي متراً مربعاً واحداً.

جدول 2. توصيات بناء نظام المرشحات المتداخلة لاستخدام مستدام.

التوصيات	التعليل
تنصيب نظام للمعالجة الأولية (Pretreatment) قبل نظام المرشحات المتداخلة[17]	لإزالة الملوثات ذات الحجم الكبير، والزيوت، والمواد العالقة
اتخاذ 5 سنتمترات عوض 10 كعُلو لطبقات خليط التربة[37]	الطبقات السميكة ترفع من احتمالية انسداد النظام
استعمال تربة رملية في تكوين طبقات خليط التربة[34]	لنفاذية أكبر ولتفادي الانسداد الذي قد تسببه التربة الطينية
إضافة أنبوب للتهوية الميكانيكية[16، 37]	لتعزيز عمل البكتيريا أو كإجراء لرفع الانسداد
تغذية النظام بأكبر عدد من النقاط[37، 49]	لضمان تشتت وتفريق المياه العادمة وتوفير مساحة التلامس القصوى بين مكونات النظام والمياه المراد معالجتها

وفيما يخص عمق النظام، فقد حدد في 1.1 متر؛ حيث تقرر استعمال ست طبقات من خليط التربة محاطة بست طبقات نفاذة مع طبقة سفلى من الحصى الكبير من أجل التصريف.[36] ويعتمد بناء هذا النظام على مختلف الخلاصات والتوصيات الملخصة في جدول (2).

جدول 3. كميات المواد اللازمة لبناء نظام المرشحات المتداخلة المدروس.

		الشكل (1)	الشكل (2)
وحدات خليط التربة	العدد	15	6
	الطول × العرض × الارتفاع (م^3)	0.05 × 0.267 × 1	0.05 × 0.083 × 1
	الكتلة الحجمية (غم/ سم^3)	1.215	
	الحجم الكلي (م^3)/ الوزن الكلي (كلغ)	0.225/ 270	
	التربة الرملية (كلغ)	189	
	نشارة الخشب (كلغ)	27	
	برادة الحديد (كلغ)		
	الفحم الطبيعي (كلغ)		
الطبقات النفاذة	العدد	6	15
	الطول × العرض × الارتفاع (م^3)	0.1 × 1 × 1	0.05 × 0.1 × 1
	الحجم الكلي (م^3)	0.675	
طبقة الحصى السفلى للتصريف	الطول × العرض × الارتفاع (م^3)	0.2 × 1 × 1	
	الحجم الكلي (م^3)	0.2	

من خلال الحسابات المنجزة في جدول (3)، يتبين أن طبقات خليط التربة تشكل 25 في المئة من حجم النظام، بينما تشكّل الطبقات النفاذة 75 في المئة، ويظهر جدول (4) أن تكلفة النظام الإجمالية تبقى جد منخفضة لا تتجاوز 80 دولاراً لمعالجة المتر المكعب الواحد من المياه العادمة.

جدول 4. دراسة التكلفة لنظام المرشحات المتداخلة المدروس.

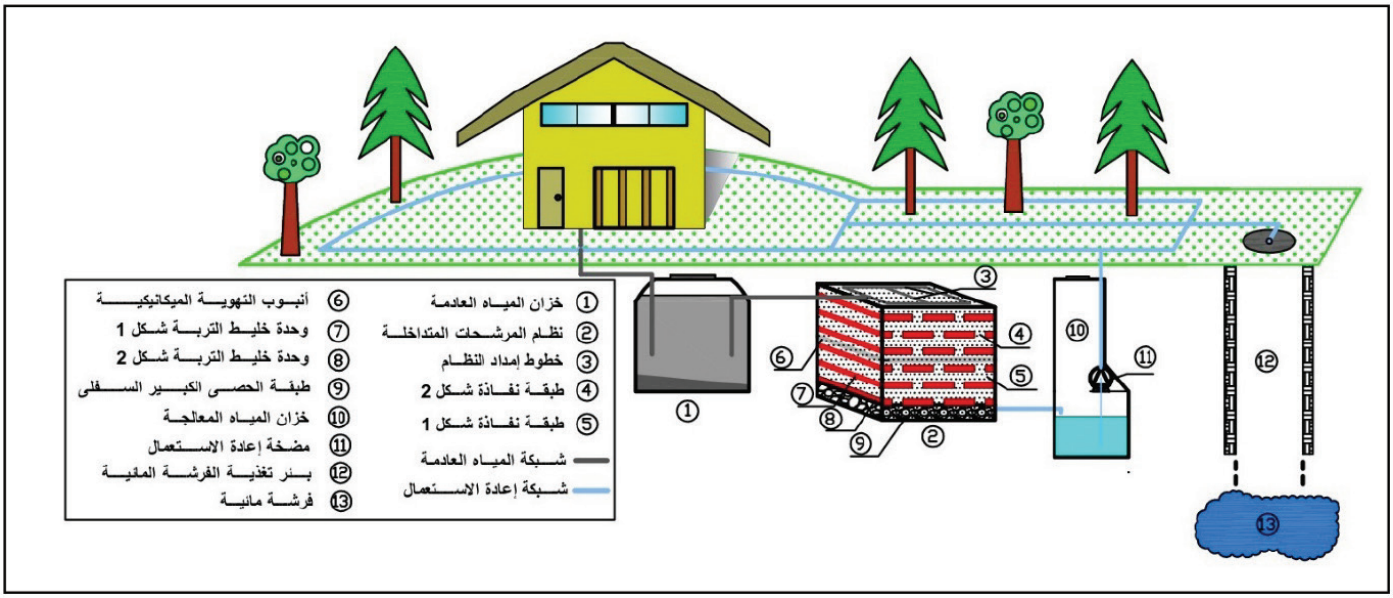
الكمية	النوع	سعر الوحدة	السعر الجزئي ($)
0.225	التربة الرملية	3$/ م^{3*}	0.675
0.027	نشارة الخشب	80$/ للطن	2.16
	برادة الحديد	300$/ للطن	8.1
	الفحم الطبيعي	250$/ للطن	6.75
0.675	حصى الطبقات النفاذة (3-5 ملم)	50$/ م^3	33.75
0.2	حصى التصريف (1-3 سم)	50$/ م^3	10
12	أنابيب الإمداد، والتهوية والتصريف	1$/ م	12
السعر الإجمالي			73.43

* تم احتساب ثمن التوصيل بالنسبة إلى التربة نظراً إلى مجانيتها ووفرتها في كل الأوساط.

وذلك بالمقارنة مع أنظمة طبيعية مماثلة كالأراضي الرطبة المشيدة ذات التدفق العمودي التي تكلف أكثر من 300 دولار أمريكي لمعالجة متر مكعب من مياه الصرف الصحي.[60، 61] ومن خلال كل ما سبق، يتبين جلياً أن نظام المرشحات المتداخلة يُعدّ الخيار المنخفض التكلفة والبديل الأنسب لمعالجة المياه المنزلية اللامركزية.[18] ومن أجل 20 سنة من الاستخدام، سيتعين على النظام معالجة ما يناهز 7300م^3 من المياه المستعملة. وإذا ما تمّت قسمة التكلفة على الحجم، فستبلغ قيمة معالجة المتر المكعب الواحد من المياه العادمة 0.01 دولار أمريكي. وبالنسبة إلى أعمال الصيانة، فقد

أبانت التجارب أن الأنظمة الجيدة التصميم لا تحتاج إلى إصلاحات إلا نادراً، ولا تتطلب في استغلالها يداً عاملة مختصة؛ ما يجعلها مستدامة ومنخفضة التكلفة ليس فقط في إنشائها، بل في تسييرها أيضا.[17] وبالنسبة إلى التجارب الطويلة الأمد على أنظمة المرشحات المتداخلة خلال السنة العاشرة،[18] والسنة العشرين من الاستخدام المتواصل،[62] لم يتطرق الباحثون إلى حاجة الأنظمة المدروسة إلى الصيانة أو أي تدخّل تقني طوال مدة الاستخدام. وبعد انقضاء العمر الافتراضي للنظام، يمكن إعادة تدوير واستخدام كل المكونات لأغراض زراعية كونها قد تشبّعت بمختلف المغذيات التي تحتاجها النباتات كسماد.[15، 17]

علاوة على ذلك، يمنح نظام المرشحات المتداخلة إمكانية استعمال المياه المعالجة في الموقع وذلك لأغراض عدة. ويمكن وصله بخزان ومضخة لإعادة استعماله لأغراض فلاحية، لسقي المساحات الخضراء، كما يمكن استخدام هذه المياه في تغذية الفرشة المائية عبر حفر أثقاب وآبار لهذه الغاية (الشكل 5).



شكل 5. تصميم نظام المرشحات المتداخلة للتطهير الفردي وإعادة الاستعمال.

9- نظام المرشحات المتداخلة كبديل مستقبلي للدول النامية الأفريقية

تتميز القارة الأفريقية بمناخها القاسي وقلة التساقطات في جل دولها، وتُصنف كثاني قارة تعاني من الجفاف بعد أستراليا. وتساهم عوامل عدة، كالزحف العمراني والنمو الديموغرافي المتزايد، في زيادة الضغط على الموارد المائية والنقص من جودتها من جراء الكميات الكبيرة من المياه العادمة التي تطرح من دون معالجة مسبقة.[25، 26] ولهذا، فإن هذه الدول مطالبة ببذل جهود مضاعفة من أجل تخفيف الضغط على هذه الموارد وإيجاد حلول بديلة من أجل معالجة المياه العادمة وإعادة استخدامها كموارد جديدة، لتحقيق التنمية المستدامة وصون حقوق الأجيال القادمة. وتستخدم بعض الدول الأفريقية كما هو مبين في جدول (5) تقنيات معالجة، مثل برك التثبيت (Stabilization ponds) والمناطق الرطبة المشيدة، إلا أنها تبقى مشوبة ببعض نقاط الضعف كالروائح الكريهة المنبعثة خصوصاً في فترات الصيف، وتكاثر القوارض والبعوض في المناطق المحيطة بها. كما تبقى تقنيات مستهلكة للمساحات، الشيء الذي يرفع من تكلفة إنشائها في المناطق القريبة من المدن نظراً إلى غلاء الوعاء العقاري.

جدول 5. مقارنة نظام المرشحات المتداخلة بالأنظمة الطبيعية المماثلة.

نوع النظام	روائح كريهة	جمالية المنظر العام	المساحة المشغولة	تردد الإصلاحات	إمكانية الربط الفردي	ملاحظات	الدول الأفريقية المستعملة
المناطق الرطبة المشيدة (Constructed wetlands)	++ (12.63)	+++ (63,64)	++ (12.63)	+++ (12,65)	نعم	وجود قوارض وبعوض[66] الحاجة الدائمة لتقليم النباتات المغروسة[67]	المغرب[68] تونس[69] جنوب أفريقيا[70] كينيا[71] السنغال[72] مصر[73] نيجيريا[74]
برك استقرار المياه العادمة Wastewater stabilization ponds	+++ ([12.75])	+ ([76.77])	+++ ([12.78])	++ ([12.79])	لا	مرتع خصب للبعوض خصوصاً في فصل الصيف[75]	المغرب[80] الجزائر[81] تونس[82] جنوب أفريقيا[76] كينيا[83] بوركينا فاسو[84] أوغندا[85]
المرشحات المتداخلة (Multi soil layering)	+ (86.87)	+++ (49.88)	+ (35.59)	+ (23.89)	نعم[15]	لا يظهر من النظام إلى طبقته العلوية من الأحجار النفاذة[15]	المغرب[20، 24، 54]

(+++ قوية/ كبيرة؛ ++ متوسطة؛ + ضعيفة إلى منعدمة)

يُعدّ نظام المرشحات المتداخلة نظاماً جديداً مكّن من استغلال قدرات التربة المتقدمة لتطهير كميات كبيرة من المياه العادمة ومعالجة ملوثاتها المضرة بالبيئة والإنسان، مع إمكانية إعادة استخدام المياه المعالجة في الموقع. كما يتميز بعدم انبعاث روائح كريهة منه نظراً إلى تصميمه وحاجته إلى مساحة صغيرة لإنشائه وسهولة اندماجه في البيئة المحيطة به.[15، 17، 24] وتكمن أهمية هذا النظام في كونه يعتمد على مواد صديقة للبيئة يمكن إيجادها بسهولة، وإن تعذّر ذلك فيمكن استبدال بعض المواد بأخرى محلية من دون الإخلال بأداء النظام.[38] وتجدر الإشارة إلى تميز النظام بإمكانية تطبيقه كنظام للتطهير الفردي والجماعي. وقد جرى إدخال هذه التقنية البيئية البديلة في دولة المغرب؛ حيث بُني اعتماداً على مواد محلية، وجرت تجربته تحت الظروف المناخية شبه القاحلة ليثبت كفاءته من خلال النتائج الواعدة المتحصل عليها.[20، 22، 24، 54] كل هذه المميزات تجعل من نظام المرشحات المتداخلة تقنية مستدامة منخفضة التكلفة والتسيير، وحلاً مستقبلياً بديلاً لمعالجة المياه العادمة في المناطق القروية والمتفرقة، خصوصاً في الدول النامية كدول القارة الأفريقية ذات الموارد المائية والمالية المحدودة.

10-خاتمة

يحتاج الوعي البيئي بمخاطر التلوث وشحّ الموارد المائية إلى تنزيل سياسات مستدامة مرنة تتماشى مع ظروف مختلف الدول؛ إذ لا يجب استثناء الدول النامية ذات الميزانيات المحدودة والظروف المناخية القاسية من فرص حماية مواردها، ولا يتأتى ذلك إلا بتبنّي أنظمة فعالة ومنخفضة التكلفة في الوقت ذاته. ويمثل نظام المرشحات المتداخلة فرصة لهذه الدول لتخفيف الضغط على مواردها المائية ومعالجة مياهها العادمة لإعادة استخدامها في الموقع لأغراض زراعية؛ لتغذية الفرشة المائية وغيرها، حيث تتميز هذه التقنية البيئية الصاعدة باستخدامها لمواد صديقة للبيئية متوافرة محلياً وقابلة لإعادة التدوير بعد انتهاء عمرها الافتراضي، ثم لحاجاتها المنخفضة إلى الطاقة، والإصلاحات، والمساحة، ثم انخفاض تكلفة الإنشاء والاستغلال؛ ما يخفض من بصمتها الكربونية ويجعلها تقنية مستقبلية واعدة لمعالجة المياه العادمة اللامركزية عبر العالم. ومقارنةً بعدة أنظمة مستخدمة في الدول الأفريقية، يبقى نظام المرشحات المتداخلة منافساً قوياً وأكثر تناسباً مع ظروف دول هذه القارة.

المراجع

1. Kusangaya S, Warburton ML, Van Garderen EA, Jewitt GP. Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2014;67–69:47–54. https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.09.014
2. König M, Escher BI, Neale PA, Krauss M, Hilscherová K, Novák J, et al. Impact of untreated wastewater on a major European river evaluated with a combination of in vitro bioassays and chemical analysis. Environmental Pollution. 2017;220:1220–1230. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.011
3. Hassen W, Alibi S, Mansour HB. Assessment of the physico-chemical and microbial pollution of wastewater and seawater collected from five Mediterranean countries. Arabian Journal of Scientific Research. 2021;2021(1):1–10. https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.6
4. Le C, Zha Y, Li Y, Sun D, Lu H, Yin B. Eutrophication of lake waters in China: Cost, causes, and control. Environmental Management. 2010;45(4):662–668. https://doi.org/10.1007/s00267-010-9440-3
5. Fuhrimann S, Winkler MS, Stalder M, Niwagaba CB, Babu M, Kabatereine NB, et al. Disease burden due to gastrointestinal pathogens in a wastewater system in Kampala, Uganda. Microbial Risk Analysis. 2016;4:16–28. https://doi.org/10.1016/j.mran.2016.11.003
6. Gharaibeh MA, Ghezzehei TA, Albalasmeh AA, Alghzawi MZ. Alteration of physical and chemical characteristics of clayey soils by irrigation with treated waste water. Geoderma. 2016;276:33–40. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.011
7. Hospido A, Moreira MT, Fernández-Couto M, Feijoo G. Environmental performance of a municipal wastewater treatment plant. International Journal of Life Cycle Assessment. 2004;9(4):261–271. https://doi.org/10.1007/BF02978602
8. Arola K, Van der Bruggen B, Mänttäri M, Kallioinen M. Treatment options for nanofiltration and reverse osmosis concentrates from municipal wastewater treatment: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2019;49(22):2049–2116. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1594519
9. Zhang QH, Yang WN, Ngo HH, Guo WS, Jin PK, Dzakpasu M, et al. Current status of urban wastewater treatment plants in China. Environment International. 2016;92:11–22
10. Withers PJ, Jordan P, May L, Jarvie HP, Deal NE. Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? Frontiers in Ecology and the Environment. 2014;12(2):123–130
11. Zhang NS, Liu YS, Van den Brink PJ, Price OR, Ying GG. Ecological risks of home and personal care products in the riverine environment of a rural region in South China without domestic wastewater treatment facilities. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2015;122:417–425. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.03.024
12. Singh NK, Kazmi AA, Starkl M. A review on full-scale decentralized wastewater treatment systems: Techno-economical approach. Water Science and Technology. 2015;71(4):468–478. https://doi.org/10.2166/wst.2014.413
13. Abou-Elela SI, Hellal MS, Aly OH, Abo-Elenin SA. Decentralized wastewater treatment using passively aerated biological filter. Environmental Technology. 2019;40(2):250–260. https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1385648
14. Zhang Z, Lei Z, Zhang Z, Sugiura N, Xu X, Yin D. Organics removal of combined wastewater through shallow soil infiltration treatment: A field and laboratory study. Journal of Hazardous Materials. 2007;149(3):657–665. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.026
15. Wakatsuki T, Esumi H, Omura S. High performance and N & P-removable on-site domestic waste water treatment system by multi-soil-layering method. Water Science and Technology. 1993;27(1):31–40. https://doi.org/10.2166/wst.1993.0010
16. Masunaga T, Sato K, Mori J, Shirahama M, Kudo H, Wakatsuki T. Characteristics of wastewater treatment using a multi-soil-layering system in relation to wastewater contamination levels and hydraulic loading rates. Soil Science and Plant Nutrition. 2007;53(2):215–223. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00128.x
17. Chen X, Luo AC, Sato K, Wakatsuki T, Masunaga T. An introduction of a multi-soil-layering system: A novel green technology for wastewater treatment in rural areas. Water and Environment Journal. 2009;23(4):255–262. https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00143.x
18. Luanmanee S, Attanandana T, Masunaga T, Wakatsuki T. The efficiency of a multi-soil-layering system on domestic wastewater treatment during the ninth and tenth years of operation. Ecological Engineering. 2001;18(2):185–199. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00077-5
19. Attanandana T, Saitthiti B, Thongpae S, Kritapirom S, Luanmanee S, Wakatsuki T. Multi-media-layering system for food service wastewater treatment. Ecological Engineering. 2000;15(1–2):133–138. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(99)00041-5
20. Ait-hmane A, Ouazzani N, Latrach L, Hejjaj A, Assabbane A, Belkouadssi M, et al. Feasibility of olive mill wastewater treatment by multi-soil-layering ecotechnology. Journal of Materials and Environmental Science. 2018;9(4):1223–1233. https://doi.org/10.26872/jmes.2017.9.4.134
21. Chen X, Sato K, Wakatsuki T, Masunaga T. Effect of aeration and material composition in soil mixture block on the removal of colored substances and chemical oxygen demand in livestock wastewater using multi-soil-layering systems. Soil Science and Plant Nutrition. 2007;53(4):509–516. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00156.x
22. Latrach L, Masunaga T, Ouazzani N, Hejjaj A, Mahi M, Mandi L. Removal of bacterial indicators and pathogens from domestic wastewater by the multi-soil-layering (MSL) system. Soil Science and Plant Nutrition. 2015;61(2):337–346. https://doi.org/10.1080/00380768.2014.974480
23. Pattnaik R, Yost RS, Porter G, Masunaga T, Attanandana T. Removing the N and P in dairy effluent using multi-soil-layer (MSL) systems. Applied Engineering in Agriculture. 2008;24(4):431–437. https://doi.org/10.13031/2013.25143
24. Latrach L, Ouazzani N, Masunaga T, Hejjaj A, Bouhoum K, Mahi M, et al. Domestic wastewater disinfection by combined

treatment using multi-soil-layering system and sand filters (MSL–SF): A laboratory pilot study. Ecological Engineering. 2016;91:294–301. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.036
25. Masih I, Maskey S, Mussá FEF, Trambauer P. A review of droughts on the African continent: A geospatial and long-term perspective. Hydrology and Earth System Sciences. 2014;18(9):3635–3649. https://doi.org/10.5194/hess-18-3635-2014
26. Olagunju A, Thondhlana G, Chilima JS, Sène-Harper A, Compaoré WRN, Ohiozebau E. Water governance research in Africa: Progress, challenges and an agenda for research and action. Water International. 2019;44(4):382–407. https://doi.org/10.1080/02508060.2019.1594576
27. Sato K, Masunaga T, Wakatsuki T. Characterization of treatment processes and mechanisms of COD, phosphorus and nitrogen removal in a multi-soil-layering system. Soil Science and Plant Nutrition. 2005;51(2):213–221. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00025.x
28. Tzanakakis VE, Paranychianaki NV, Angelakis AN. Soil as a wastewater treatment system: Historical development. Water Science and Technology: Water Supply. 2007;7(1):67–75. https://doi.org/10.2166/ws.2007.008
29. Capodaglio AG, Callegari A, Cecconet D, Molognoni D. Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies. Water Practice and Technology. 2017;12(2):463–477. https://doi.org/10.2166/wpt.2017.055
30. Perkins RJ. Onsite wastewater disposal. Michigan: Lewis Publishers; 1989.
31. Song P, Huang G, An C, Zhang P, Chen X, Ren S. Performance analysis and life cycle greenhouse gas emission assessment of an integrated gravitational-flow wastewater treatment system for rural areas. Environmental Science and Pollution Research. 2019;26(25):25883–25897. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05746-2
32. Yidong G, Xin C, Shuai Z, Ancheng L. Performance of multi-soil-layering system (MSL) treating leachate from rural unsanitary landfills. Science of the Total Environment. 2012;420:183–190. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.057
33. Sato K, Iwashima N, Wakatsuki T, Masunaga T. Quantitative evaluation of treatment processes and mechanisms of organic matter, phosphorus, and nitrogen removal in a multi-soil-layering system. Soil Science and Plant Nutrition. 2011;57(3):475–486. https://doi.org/10.1080/00380768.2011.590944
34. Masunaga T, Sato K, Zennami T, Fujii S, Wakatsuki T. Direct treatment of polluted river water by the multi-soil-layering method. Journal of Water and Environment Technology. 2003;1(1):97–104. https://doi.org/10.2965/jwet.2003.97
35. Guan Y, Zhang Y, Zhong CN, Huang XF, Fu J, Zhao D. Effect of operating factors on the contaminants removal of a soil filter: Multi-soil-layering system. Environmental Earth Sciences. 2015;74(3):2679–2686. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4288-8
36. Sato K, Masunaga T, Wakatsuki T. Water movement characteristics in a multi-soil-layering system. Soil Science and Plant Nutrition. 2005;51(1):75–82. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00009.x
37. Sato K, Iwashima N, Wakatsuki T, Masunaga T. Clarification of water movement properties in a multi-soil-layering system. Soil Science and Plant Nutrition. 2011;57(4):607–618. https://doi.org/10.1080/00380768.2011.594966
38. Luanmanee S, Boonsook P, Attanandana T, Wakatsuki T. Effect of organic components and aeration regimes on the efficiency of a multi-soil-layering system for domestic wastewater treatment. Soil Science and Plant Nutrition. 2002;48(2):125–134. https://doi.org/10.1080/00380768.2002.10409182
39. Ho CC, Wang PH. Efficiency of a multi-soil-layering system on wastewater treatment using environment-friendly filter materials. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015;12(3):3362–3380. https://doi.org/10.3390/ijerph120303362
40. Katsoyiannis A, Samara C. The fate of dissolved organic carbon (DOC) in the wastewater treatment process and its importance in the removal of wastewater contaminants. Environmental Science and Pollution Research – International. 2007;14(5):284–292. https://doi.org/10.1065/espr2006.05.302
41. López-Pacheco IY, Silva-Núñez A, Salinas-Salazar C, Arévalo-Gallegos A, Lizarazo-Holguin LA, Barceló D, et al. Anthropogenic contaminants of high concern: Existence in water resources and their adverse effects. Science of the Total Environment. 2019;690:1068–1088. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.052
42. He W, Bai Z, Li Y, Kong X, Liu W, Yang C, et al. Advances in environmental behaviors and effects of dissolved organic matter in aquatic ecosystems. Science China Earth Sciences. 2016;59(4):746–759. https://doi.org/10.1007/s11430-015-5248-6
43. Kube M, Jefferson B, Fan L, Roddick F. The impact of wastewater characteristics, algal species selection and immobilisation on simultaneous nitrogen and phosphorus removal. Algal Research. 2018;31:478–488. https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.01.009
44. Dinnes DL, Karlen DL, Jaynes DB, Kaspar TC, Hatfield JL, Colvin TS, et al. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. Agronomy Journal. 2002;94(1):153–171. https://doi.org/10.2134/agronj2002.1530
45. Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. Science of the Total Environment. 2020;728:138764. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764
46. Farkas K, Hillary LS, Malham SK, McDonald JE, Jones DL. Wastewater and public health: The potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19. Current Opinion in Environmental Science & Health. 2020;17:14–20. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.06.001
47. Norman G, Pedley S, Takkouche B. Effects of sewerage on diarrhoea and enteric infections: A systematic review and meta-analysis. Lancet Infectious Diseases. 2010;10(8):536–544. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(10)70123-7
48. Auriol M, Filali-Meknassi Y, Adams CD, Tyagi RD, Noguerol TN, Piña B. Removal of estrogenic activity of natural and synthetic hormones from a municipal wastewater: Efficiency

of horseradish peroxidase and laccase from *Trametes versicolor*. Chemosphere. 2008;70(3):445–452. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.064

49. Song P, Huang G, An C, Xin X, Zhang P, Chen X, et al. Exploring the decentralized treatment of sulfamethoxazole-contained poultry wastewater through vertical-flow multi-soil-layering systems in rural communities. Water Research. 2021;188:116480. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116480
50. Boonsook P, Luanmanee S, Attanandana T, Kamidouzono A, Masunaga T, Wakatsuki T. A comparative study of permeable layer materials and aeration regime on efficiency of multi-soil-layering system for domestic wastewater treatment in Thailand. Soil Science and Plant Nutrition. 2003;49(6):873–82. https://doi.org/10.1080/00380768.2003.10410350
51. Hong Y, Huang G, An C, Song P, Xin X, Chen X, et al. Enhanced nitrogen removal in the treatment of rural domestic sewage using vertical-flow multi-soil-layering systems: Experimental and modeling insights. Journal of Environmental Management. 2019;240:273–284. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.097
52. Zhang Y, Cheng Y, Yang C, Luo W, Zeng G, Lu L. Performance of system consisting of vertical flow trickling filter and horizontal flow multi-soil-layering reactor for treatment of rural wastewater. Bioresource Technology. 2015;193:424–432. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.140
53. Kadam AM, Oza GH, Nemade PD, Shankar HS. Pathogen removal from municipal wastewater in constructed soil filter. Ecological Engineering. 2008;33(1):37–44. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.12.001
54. Latrach L, Ouazzani N, Hejjaj A, Mahi M, Masunaga T, Mandi L. Two-stage vertical flow multi-soil-layering (MSL) technology for efficient removal of coliforms and human pathogens from domestic wastewater in rural areas under arid climate. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2018;221(1):64–80. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.10.004
55. Luo W, Yang C, He H, Zeng G, Yan S, Cheng Y. Novel two-stage vertical flow biofilter system for efficient treatment of decentralized domestic wastewater. Ecological Engineering. 2014;64:415–423. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.01.011
56. Sofyan S, Sy S, Ardinal A. Combination of anaerobic filter system and multi soil layering (MSL) as an alternative for liquid waste treatment in small and medium food industry (in Malaysian). Indonesian Journal of Engineering Research. 2009;3(2):72227.
57. Campana PE, Mainardis M, Moretti A, Cottes M. 100% renewable wastewater treatment plants: Techno-economic assessment using a modelling and optimization approach. Energy Conversion and Management. 2021;239:114214. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114214
58. Zhang Y, Rottiers T, Meesschaert B, Pinoy L, Van der Bruggen B. Wastewater treatment by renewable energy driven membrane processes. In: Basile A, Cassano A, Figoli A, editors. Current trends and future developments on (bio-) membranes [Internet]. Elsevier; 2019 [cited 2021 Aug 21]. pp. 1–19. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813545-7.00001-5
59. Koottatep T, Pussayanavin T, Polprasert C. Nouveau design solar septic tank: Reinvented toilet technology for sanitation 4.0. Environmental Technology & Innovation. 2020;19:100933. https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100933
60. Rousseau DP, Vanrolleghem PA, De Pauw N. Constructed wetlands in Flanders: A performance analysis. Ecological Engineering. 2004;23(3):151–163. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.08.001
61. Puigagut J, Villaseñor J, Salas JJ, Bécares E, García J. Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: A comparative study. Ecological Engineering. 2007;30(4):312–319. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.04.005
62. Sato K, Wakatsuki T, Iwashima N, Masunaga T. Evaluation of long-term wastewater treatment performances in multi-soil-layering systems in small rural communities. Applied and Environmental Soil Science. 2019;2019:e1214368. https://doi.org/10.1155/2019/1214368
63. Ingrao C, Failla S, Arcidiacono C. A comprehensive review of environmental and operational issues of constructed wetland systems. Current Opinion in Environmental Science & Health. 2020;13:35–45. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.007
64. Harrington R, McInnes R. Integrated constructed wetlands (ICW) for livestock wastewater management. Bioresource Technology. 2009;100(22):5498–5505. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.007
65. Nogueira R, Brito AG, Machado AP, Janknecht P, Salas JJ, Vera L, et al. Economic and environmental assessment of small and decentralized wastewater treatment systems. Desalination and Water Treatment. 2009;4(1–3):16–21. https://doi.org/10.5004/dwt.2009.349
66. Schäfer ML, Lundström JO, Pfeffer M, Lundkvist E, Landin J. Biological diversity versus risk for mosquito nuisance and disease transmission in constructed wetlands in southern Sweden. Medical and Veterinary Entomology. 2004;18(3):256–267. https://doi.org/10.1111/j.0269-283X.2004.00504.x
67. Yang Z, Wang Q, Zhang J, Xie H, Feng S. Effect of plant harvesting on the performance of constructed wetlands during summer. Water. 2016;8(1):24. https://doi.org/10.3390/w8010024
68. El Hamouri B, Nazih J, Lahjouj J. Subsurface-horizontal flow constructed wetland for sewage treatment under Moroccan climate conditions. Desalination. 2007;215(1–3):153–158. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.018
69. Houda N, Hanene C, Ines M, Myriam BS, Imen D, Abdennaceur H. Isolation and characterization of microbial communities from a constructed wetlands system: A case study in Tunisia. African Journal of Microbiology Research. 2014;8(6):529–538. https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6493
70. Schulz R, Hahn C, Bennett ER, Dabrowski JM, Thiere G, Peall SKC. Fate and effects of azinphos-methyl in a flow-through wetland in South Africa. Environmental Science & Technology. 2003;37(10):2139–2144. https://doi.org/10.1021/es026029f
71. Kilingo FM, Bernard Z, Hongbin C. Study of domestic wastewater treatment using *Moringa oleifera* coagulant coupled with vertical flow constructed wetland in Kibera Slum, Kenya. Environmental Science and Pollution Research. 2022;29:36589–36607. https://doi.org/10.1007/s11356-022-18692-3

72. Torrens A, de la Varga D, Ndiaye AK, Folch M, Coly A. Innovative multistage constructed wetland for municipal wastewater treatment and reuse for agriculture in Senegal. Water. 2020;12(11):3139. https://doi.org/10.3390/w12113139
73. Abdel-Shafy HI, El-Khateeb MA, Regelsberger M, El-Sheikh R, Shehata M. Integrated system for the treatment of blackwater and greywater via UASB and constructed wetland in Egypt. Desalination and Water Treatment. 2009;8(1–3):272–278. https://doi.org/10.5004/dwt.2009.788
74. Mustapha HI, van Bruggen JJA, Lens PNL. Vertical subsurface flow constructed wetlands for polishing secondary Kaduna refinery wastewater in Nigeria. Ecological Engineering. 2015;84:588–595. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.060
75. Porges R, Mackenthun KM. Waste stabilization ponds: Use, function, and biota. Biotechnology and Bioengineering. 1963;5(4):255–273. https://doi.org/10.1002/bit.260050403
76. Edokpayi JN, Odiyo JO, Popoola OE, Msagati TAM. Evaluation of contaminants removal by waste stabilization ponds: A case study of Siloam WSPs in Vhembe District, South Africa. Heliyon. 2021;7(2):e06207. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06207
77. Edokpayi JN, Odiyo JO, Msagati TAM, Potgieter N. Temporal variations in physico-chemical and microbiological characteristics of Mvudi River, South Africa. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015;12(4):4128–4140. https://doi.org/10.3390/ijerph120404128
78. Vuillot M, Boutin C. Waste stabilization ponds in Europe: A state of the art review. Water Science and Technology. 1987;19(12):1–6. https://doi.org/10.2166/wst.1987.0119
79. Lloyd BJ, Leitner AR, Vorkas CA, Guganesharajah RK. Under-performance evaluation and rehabilitation strategy for waste stabilization ponds in Mexico. Water Science and Technology. 2003;48(2):35–43. https://doi.org/10.2166/wst.2003.0080
80. Achag B, Mouhanni H, Bendou A. Hydro-biological characterization and efficiency of natural waste stabilization ponds in a desert climate (city of Assa, Southern Morocco). Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua. 2021;70(3):361–374. https://doi.org/10.2166/aqua.2021.125
81. Hammadi B, Bebba AA, Gherraf N. Degradation of organic pollution aerated lagoons. In an arid climate: The case the treatment plant Ouargla (Algeria). Acta Ecologica Sinica. 2016;36(4):275–279. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.05.002
82. Jarboui R, Sellami F, Azri C, Gharsallah N, Ammar E. Olive mill wastewater evaporation management using PCA method: Case study of natural degradation in stabilization ponds (Sfax, Tunisia). Journal of Hazardous Materials. 2010;176(1–3):992–1005. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.140
83. K'oreje KO, Kandie FJ, Vergeynst L, Abira MA, Van Langenhove H, Okoth M, et al. Occurrence, fate and removal of pharmaceuticals, personal care products and pesticides in wastewater stabilization ponds and receiving rivers in the Nzoia Basin, Kenya. Science of the Total Environment. 2018;637:336–348. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.331
84. Konaté Y, Maiga AH, Basset D, Casellas C, Picot B. Parasite removal by waste stabilisation pond in Burkina Faso, accumulation and inactivation in sludge. Ecological Engineering. 2013;50:101–106. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.021
85. Babu MA, van der Steen NP, Hooijmans CM, Gijzen HJ. Nitrogen mass balances for pilot-scale biofilm stabilization ponds under tropical conditions. Bioresource Technology. 2011;102(4):3754–3760. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.003
86. An CJ, McBean E, Huang GH, Yao Y, Zhang P, Chen XJ, et al. Multi-soil-layering systems for wastewater treatment in small and remote communities. Journal of Environmental Informatics. 2016;27(2):131–144.
87. Supriyadi, Widijanto H, Pranoto, Dewi AK. Improving quality of textile wastewater with organic materials as multi soil layering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016;107:012016. https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012016
88. Sy S, Sofyan, Ardinal, Kasman M. Reduction of pollutant parameters in textile dyeing wastewater by Gambier (*Uncaria gambir* Roxb) using the multi soil layering (MSL) bioreactor. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019;546(2):022032. https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/2/022032
89. Song P, Huang G, An C, Shen J, Zhang P, Chen X, et al. Treatment of rural domestic wastewater using multi-soil-layering systems: Performance evaluation, factorial analysis and numerical modeling. Science of the Total Environment. 2018;644:536–546. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.331

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research
https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.11
المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 6

ورقة بحثية

تأثير الرش بتركيزات مختلفة من المستخلص المائي لفصوص الثوم في صفات النمو الزهري والمحصول لنبات الخيار (*Cucumis sativus* L.) صنف (*Beit Alpha*) تحت الظروف المناخية لمدينة إب في اليمن

عبد الله حمود عبد الله الحاج[1*]، يحي عبد الجليل العريقي[1]، أحمد محمد عيد[1]

[1] قسم الإنتاج النباتي، كلية الزراعة وعلوم الأغذية، جامعة إب، اليمن

Email: Abdullah_1963@yahoo,com *

الملخص

يعدّ محصول الخيار من محاصيل الخُضر المنتشرة زراعته محلياً بشكل واسع في البيوت المحمية، نظراً إلى القيمة الغذائية لثماره. لكنه يعاني من أن عدد الأزهار المذكرة في النبات الواحد أعلى من عدد الأزهار المؤنثة؛ مما يؤثر سلبياً في إنتاج النبات الواحد، لذلك أُجري البحث بهدف دراسة تأثير الرش بتركيزات مختلفة من المستخلص المائي لفصوص الثوم (1.25، 2.50، 3.75، 5، 6.25، 7.50 سم^3/ لتر، إضافة إلى استخدام الماء المقطر كشاهد) في صفات النمو الزهري والمحصول الكلي لنبات الخيار، صنف بيت ألفا، في عام 2019؛ بغرض زيادة عدد الأزهار المؤنثة والمحصول للنبات الواحد. نُفذ البحث في المشتل التابع لمكتب الزراعة والري في محافظة إب في الجمهورية اليمنية، ودُرست مجموعة من صفات النمو الزهري والمحصول. وأظهرت النتائج أن الرش بالمستخلص المائي لفصوص الثوم أدى إلى تحسين صفات النمو الزهري والمحصول الكلي؛ إذ أعطى التركيز 3.75 سم^3/ لتر أعلى القيم وبتفوق معنوي للصفات المدروسة (عدد الأزهار المؤنثة/ نبات، والنسبة الجنسية والإنتاجية الكلية) بلغت 40.10 زهرة/ نبات، في حين بلغت الصفتان المدروستان الأخريان 1.29 و31.44 طناً/ هكتار على التوالي، عدا موقع أول زهرة أنثوية وعدد الأزهار المذكرة/ نبات؛ وقد أعطى التركيز نفسه أقل القيم وبانخفاض معنوي بلغت 4.98 و30.82 زهرة على التوالي، بينما التركيز 5 سم^3/ لتر أعطى أعلى القيم للنسبة المئوية للثمار العاقدة وبتفوق معنوي بلغت 58.11%. تم تحسين قيمة الانحدار التربيعي (R^2) من 3.6% (خطي) إلى 86.6% (تربيعي)، ويلاحظ أن الانحدار في صورة المنحنى التربيعي أظهر كفاءة أعلى عن الصورة في المنحنى الخطي في تفسير نقص أو زيادة الإنتاج المرتبط بنقص أو زيادة تركيزات مستخلص فصوص الثوم. وفي المنحنى التربيعي، إذا تم رش مستخلص الثوم الورقي بمستوى 3.53 سم^3/ لتر، فمن المتوقع أن يكون الحد الأقصى لإجمالي محصول الخيار 30.94 طناً/ هكتار.أثبت البحث فاعلية مستخلص فصوص الثوم عند تركيز معيّن في رفع أعداد الأزهار المؤنثة مقارنة بالأزهار المذكرة في النبات الواحد ومما ينتج منه زيادة إنتاج النبات.

الكلمات المفتاحية: مستخلص الثوم، محصول الخيار، الأزهار المؤنثة، الإنتاج.

Title

Effect of spraying watery garlic extract (different concentrations) on the flowering characteristics and yield of cucumber (Cucumis sativus L.var. Beta Alpha)- under the climatic conditions of Ibb city, Yemen

Abdullah H. A. Al-hajj[1*], Yahya Abdul-Jalil Al-Ariqi[1], Ahmed M. Eed[1]

[1] Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Food Science, Ibb University, Yemen

Received 18 May 2022; accepted 21 August 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Al-hajj AHA, Al-Ariqi YA, Eed AM, Effect of spraying watery garlic extract (different concentrations) on the flowering characteristics and yield of cucumber (Cucumis sativus L. var. Beta Alpha)- under the climatic conditions of Ibb city, Yemen. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.11. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.11

Abstract

Cucumber is one of widespread crops cultivated locally in greenhouses due to its nutritional value. However, having higher number of female flowers compared to male flowers in the cucumber plant affects negatively the crop production. Thus, this research aims at studying the effect of spraying different concentrations of watery garlic extract on the flowering characteristics and the total yield of the cucumber plant var *Beta Alpha*. To achieve this, different concentrations of watery garlic extract @1.25, 2.50, 3.75, 5, 6.25 and 7.50 cm^3/L were added to distilled water (which was used as a control treatment). This research was conducted in 2019 at the nursery of the Bureau of Agriculture and Irrigation, Ibb Governorate, Yemen. Results showed that spraying the watery garlic (*Allium sativum* L) extract improved the characteristics of flowering growth and the total yield. The concentration of 3.75cm^3/L gave the highest values and significant superiority to the studied aspects. This concentration made the number of female flowers/plant, sex ratio and total productivity reached 3.81 nodes, 40.1, 1.29 and 31.44 hectare/ton respectively. However, it gave lowest values for the location of the first female flower and number of male flowers/plants, with a significant decrease of 4.98, 30.82 flowers respectively. On the other hand, the concentration of 5cm^3/liter gave the highest values for the knotting of fruits percentage, with 58.11% significant superiority. The quadratic regression (R2) value improved from 3.6% (linear) to 86.6% (quadratic). It is noted that the quadratic model showed higher efficiency than the linear model in explaining the decrease or increase of production associated with decrease or increase of garlic extract concentrations. In the quadratic curve, if garlic extract is foliar sprayed at a level of 3.53 cm3/L, the maximum cucumber total yield is expected to be 30.94 t ha-1. This research proved the efficiency of watery garlic extract at specific concentrations on raising the number of female flowers against male flowers leading to plant production increase.

Keywords:: Garlic extract, cucumber crop, female flowers, production

1- المقدمة

يُعد نبات الخيار (*Cucumis sativus* L.) من محاصيل الخُضر الصيفية المهمة في الجمهورية اليمنية والعالم ومن أوسعها انتشاراً، ويتبع العائلة القرعية Cucurbitaceae، وأغلب أصنافه أحادي الجنس أحادي المسكن على الرغم من نشوء الأزهار كاملة، إلا أن أحد أعضائها الجنسية هو الذي يتطور في حين يضمر الآخر؛ فتكون الزهرة إما أنثوية أو ذكرية. ونبات الخيار الأحادي الجنس الأحادي المسكن يكون محتواه من الإيثيلين المسؤول عن زيادة الأزهار الأنثوية أقل من السلالات الأنثوية.[1] وهو من المحاصيل خلطية التلقيح جزئياً، يتأثر نموه بالظروف البيئية، إضافة إلى تأثير منظمات النمو الصناعية التي تؤدي دوراً مهماً في التأثير في طبيعة نمو وتزهير وعقد ثمار هذا المحصول.[2] ويُزرع الخيار في الجمهورية اليمنية في الحقول المكشوفة، كما يُزرع في البيوت المحمية تحت الإنفاق والبيوت البلاستيكية.

بلغت المساحة المزروعة بهذا المحصول في الجمهورية اليمنية في عام 2014 نحو 1,059 هكتاراً بمعدل إنتاج بلغ 16,278 طناً، بمتوسط إنتاج حوالي 15.370 طناً/ هكتار.[3] ويزرع الخيار من أجل ثماره؛ فهي تُستعمل فاتحاً للشهية، وتُستهلك بشكل طازج أو تدخل مع السلطة وعمل المخللات، ولها استعمالات طبية عديدة منها المحافظة على نضارة بشرة الإنسان والتخفيف من الاضطرابات العصبية وتنقية الجسم من السموم ومسكن للصداع ومزيل للظمأ،[4] وتُفيد في تخفيف الألم الناتج من تهيج الجلد وتقلل من الانتفاخ.[5] وأيضاً تستعمل علاجاً منشطاً لتشجيع تدفق البول بسبب احتوائها على كمية عالية من البوتاسيوم تقدر بـ 50-80 ملجم/ 100 جم من الثمار، كما تُفيد ثمار الخيار في توازن ارتفاع وانخفاض ضغط الدم.[6] ولأهمية هذا المحصول وزيادة الطلب عليه ولكثرة استهلاكه، فقد حظي باهتمام كبير من زارعيه.

تعد عملية التزهير من العمليات الأساسية المهمة التي تجري في نبات الخيار، وفي هذا الصدد وجد الباحثون والمزارعون أن نسبة الأزهار الذكرية إلى الأزهار الأنثوية (أي النسبة الجنسية *Sex Ratio*) تؤدي دوراً مهماً في الإنتاج، وكلما قلت هذه النسبة ازداد عدد الأزهار الأنثوية وازداد المحصول. وتأتي أهمية دراسة هذا المؤشر في نبات الخيار من خلال تأثير أعداد الأزهار الذكرية الكلية في النسبة الجنسية في النبات، ويعدّ هذا المؤشر جيداً كلما انخفضت فيها أعداد الأزهار الذكرية مقارنة بالأعداد الأنثوية، ولكن إلى الحد الذي يؤمن توفير حبوب لقاح كافية لتلقيح الأزهار الأنثوية.[7]

أشار العديد من الباحثين إلى إمكانية تنظيم الإزهار لعدد من المحاصيل من خلال استخدام المستخلصات النباتية.[8،9] ويعتبر الثوم (*Allium sativum L.*) أحد هذه النباتات.

وأشار كل من[10، 11] أن المعاملة بالمستخلص المائي لفصوص الثوم على نبات القرع قد سببت زيادة في نسبة الأزهار الأنثوية، وقللت النسبة الجنسية مقارنة بمعاملة الشاهد، وأن مستخلص الثوم يعمل على اتجاه نسبة التعبير الجنسي (عدد الأزهار المذكرة/ عدد الأزهار المؤنثة) نحو التزهير المؤنث، وتبين أن له تأثيرات مشابهة لتأثير الأوكسين. كما وجد[12] أن محصول نبات القرع يزداد عند رشه أو حقنه بمستخلص الثوم، وأن رش مستخلص الثوم يبكّر من التزهير المؤنث بفارق أربعة أيام عن معاملة المقارنة كما أشار إلى ذلك،[13، 14] بأن رش نبات الخيار بالمستخلص المائي للثوم يبكّر من ظهور الأزهار الأنثوية على العقد الأدنى، كما سجل أقل القيم بانخفاض معنوي لعدد الأزهار المذكرة/ نبات والنسبة الجنسية، بينما أدى الرش بالمستخلص المائي للثوم إلى زيادة معنوية لكل من عدد الأزهار المؤنثة/ نبات، والنسبة المئوية للأزهار العاقدة والمحصول الكلي بالطن/ هكتار.[15]

ووجد[16،17] أن مركب ثنائي كبريتيد ديالليل (*Diallyl Disulfide*) الموجود في مستخلص الثوم يثبط حيوية وفعالية (*3-Hydroxy-3-Methylglutary-*CoA) الذي بدوره يُعتبر مسؤولاً عن بناء حامض الميفالونيك (*Mevalonic Acid*) الذي يمهّد بناء السيترول (*Sterol Biosynthesis*)، ويعتبر إنزيم ألييناز (*Alliinlyase*) مفتاحاً منظماً لهذه العملية. كما أشار[18، 19] أن مستخلص الثوم يحتوي على الحامض الأميني المثيونين الذي يعتبر المركب البادئ للإيثيلين، الذي يعاكس عمل الجبرلين، وهكذا سيقل عدد الأزهار الذكرية.[20] وذكر[21] أن زيادة الكربوهيدرات في مستخلص الثوم تقلل من عدد الأزهار الذكرية. في حين أشار[22] إلى أن الرش بالمستخلص المائي للثوم بتركيز2.5 سم^3 أدى إلى التبكير في موقع ظهور أول زهرة مؤنثة، كما أدى إلى زيادة في عدد الأزهار الأنثوية وزيادة في نسبة العقد.

وفي الوقت الحاضر، صار الاتجاه نحو إيجاد البدائل الطبيعية من المركبات الطبيعية (*Natural Compounds*) التي يمكن أن تؤدي الغرض نفسه الذي تؤديه المواد الصناعية، إضافة إلى أنها عموماً أقل، إن لم تكن معدومة الخطورة على صحة الإنسان والكائنات الحية والبيئة.[23]

2- هدف البحث

كون نبات الخيار فيه عدد أكبر من الأزهار المذكرة مقارنة بعدد الأزهار المؤنثة التي هي مسؤولة عن تكوين الثمار؛ مما يترتب عليه انخفاض في المحصول، لذلك أُجري البحث بهدف معرفة تأثير الرش بتركيزات مختلفة من مستخلص فصوص الثوم المائي في تزهير ثمار الخيار والمحصول بغرض زيادة الإنتاج، وكذلك معرفة أفضل تركيز من هذا المستخلص المضاف رشاً الذي أدى إلى إحداث أعلى معدل تزهير ومحصول في نبات الخيار.

3- مواد وطرائق البحث

أُجريت تجربة حقلية في المشتل التابع لمكتب الزراعة في محافظة إب في الجمهورية اليمنية، لدراسة تأثير الرش بتراكيز مختلفة من مستخلص الثوم المائي، وهي: 1.25، 2.50، 3.75، 5، 6.25، 7.50 سم^3/ لتر، إضافة إلى الرش بالماء المقطر كشاهد على صفات النمو الزهري والمحصول الكلي لنبات الخيار صنف بيت ألفا للموسم الربيعي لعام 2019. ونفذت هذه التجربة في عامل واحد (*One Way*) وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (CRBD) في ثلاثة مكررات.

3-1 تحضير مستخلص عصير الثوم

تم جلب 250 غراماً من فصوص الثوم جُمعت من السوق المحلي ووُضعت في 250 مل من ماء مقطر وخُلطت بواسطة (*Blender*)، ثم تم ترشيح المحلول الناتج بقطعتين من قماش الململ (*Malmal Cloth*)، فيكون لدينا محلول كامل الفعالية (100%) وجرى تحضير التراكيز المطلوبة منه،[24] على أن يحضر المستخلص في يوم الرش على النباتات نفسه، ويجب الرش دائماً في خلال أربع ساعات من تحضير محلول الرش؛ لأن فاعلية منظم النمو تقل بعد ذلك، وقد رُشت المحاليل على النباتات حتى البلل الكامل ثلاث رشات؛ الأولى في مرحلة 3-4 أوراق حقيقية، ثم كُرر الرش للمرة الثانية والثالثة بفاصل أسبوعين بين الرشة والأخرى، في حين جرى رش الشاهد بالماء المقطر.[22] كما جرت عملية إعداد وتهيئة البيت البلاستيكي بإزالة بقايا المحصول السابق، وجرت حراثة التربة لأكثر من مرة وتنعيمها وتسويتها جيداً، وبلغ عدد خطوط الزراعة 12 خطاً ومعدل المسافة بين المسطبة والآخر 150 سم، وبين كل نبات وآخر 50 سم. وبلغ عدد النباتات في الوحدة التجريبية 12 نباتاً. وبلغت مساحة الوحدة التجريبية 4.5م^2، وجرى القيام بالعمليات الزراعية وعمليات خدمة المحصول وفقاً للتوصيات الفنية في مشتل مكتب الزراعة في محافظة إب، وأُخذت البيانات التالية:

3-2 قياسات صفات النمو الزهري

جرى اختيار خمسة نباتات أُخذت عشوائياً من كل وحدة تجريبية، وأُخذت عليها قراءات صفات النمو الزهري مثل موقع أول زهرة أنثوية، وعدد الأزهار المؤنثة/ نبات، وعدد الأزهار المذكرة/ نبات، والنسبة المئوية للأزهار العاقدة والنسبة الجنسية، بينما حُسب الحاصل الكلي طن/ هكتار على أساس الوحدة التجريبية.

3-2-1 عدد العقد قبل ظهور أول زهرة أنثوية

تم احتسابها للنباتات الخمسة لكل وحدة تجريبية في حال ظهور الأزهار الأنثوية على الساق الرئيسية بحساب عدد العقد من موضع اتصال النبات بالتربة.

3-2-2 عدد الأزهار المؤنثة/ نبات

تم حساب عدد الأزهار المؤنثة/ نبات منذ بداية ظهورها ولغاية انتهاء موسم النمو على الساق الرئيسية والأفرع الجانبية وبواقع مرتين في الأسبوع لكل نبات من النباتات الخمسة في الوحدة التجريبية.[7]

3-2-3 عدد الأزهار المذكرة/ نبات

تم حساب عدد الأزهار المذكرة/ نبات منذ بداية ظهورها وحتى انتهاء موسم النمو على الساق الرئيسية والأفرع الجانبية، وبواقع مرتين في الأسبوع لكل نبات من النباتات الخمسة في الوحدة التجريبية.[7]

3-2-4 النسبة المئوية للأزهار العاقدة %

تم احتسابها حسب ما ذكره[22] في المعادلة التالية:

$$\text{النسبة المئوية للأزهار العاقدة} = \frac{\text{عدد الأزهار الكلية العاقدة في النبات}}{\text{عدد الأزهار الأنثوية الكلية في النبات}} \times 100$$

3-2-5 النسبة الجنسية

تم احتساب النسبة الجنسية بحسب المعادلة:

$$\text{النسبة الجنسية} = \frac{\text{عدد الأزهار الأنثوية العاقدة في النبات}}{\text{عدد الأزهار الأنثوية العاقدة في النبات}}.$$ [25]

3-3 المحصول الكلي (طن/ هكتار)

جرى احتسابه على أساس وزن إنتاج القطعة التجريبية، ومنها جرى احتساب إنتاجية الهكتار.

3-4 التحليل الإحصائي

استُخدم برنامج (SAS 9.2) للحصول على جدول تحليل التباين (ANOVA)، وقورنت المتوسطات باستخدام اختبار (LSD) أقل فرق معنوي عند مستوى ($P\leq0.05$).[26] وتم حساب معامل الانحدار (R) بين التركيزات المختلفة للمستخلص المائي للثوم والحاصل الكلي لمحصول الخيار.

4- النتائج والمناقشة

4-1 موقع أول زهرة أنثوية

أظهرت النتائج المبيّنة في جدول1 أن رش مستخلص فصوص الثوم بتركيز 3.75 سم^3/ لتر ماء مقطر قد أدى إلى التبكير في ظهور أول زهرة أنثوية على العقدة 4.98 مقارنة بالعقدة 6.55 لمعاملة المقارنة، وبتفوق معنوي على جميع التراكيز عدا التركيزين 1.25 و2.25 سم^3/ لتر لم يصل الفرق بينهما إلى حد المعنوية، وتتفق هذه النتائج مع ما وجده[12] بأن رش أو حقن نبات القرع بمستخلص الثوم يبكّر من ظهور الأزهار الأنثوية على العقد الأدنى. كما تتفق النتائج مع ما توصل إليه[13، 14، 22] من أن رش نبات الخيار بالمستخلص المائي لفصوص الثوم يبكّر من ظهور الأزهار الأنثوية على العقد الأدنى. ويعزى السبب في انخفاض رقم العقدة الأنثوية عند المعاملة بالمستخلص المائي للثوم إلى احتواء الثوم على المثيونين،[18] وهو المركب البادئ للإيثيلين وهذا يؤدي إلى التسريع في ظهور الأزهار الأنثوية.

4-2 عدد الأزهار المؤنثة/ نبات

من خلال النتائج الواردة في جدول 1، يلاحظ أن الرش بالمستخلص المائي للثوم بتركيز 3.75 سم^3/ لتر أدى إلى زيادة عدد الأزهار المؤنثة/ نبات بنسبة

5.41% مقارنة بالشاهد وبتفوق معنوي على جميع التراكيز عدا التركيزين 1.25 و2.5 سم^3/ لتر لم يصل الفرق بينهما إلى حد المعنوية، وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه[10,12,15] من أن رش نبات القرع بمستخلص الثوم قد أدى إلى زيادة عدد الأزهار المؤنثة/ نبات، كما تتفق النتائج مع ما توصل إليه[13، 14، 22] من أن رش نبات الخيار بمستخلص فصوص الثوم أدى إلى زيادة عدد الأزهار المؤنثة/ نبات، وقد يعود السبب في ذلك إلى احتواء مستخلص فصوص الثوم موادً هرمونية مثبّطة للأزهار المذكرة، أو أن المستخلص يعمل على زيادة مستوى الأوكسين، ومن ثم يعمل على تشجيع تكوين الأزهار المؤنثة.

3-4 عدد الأزهار المذكرة/ نبات

أشارت النتائج الواردة في جدول 1 إلى أن الرش بالمستخلص المائي لفصوص الثوم بتركيز3.75 سم^3/ لتر سجّل أقل القيم بانخفاض معنوي لعدد الأزهار المذكرة/ نبات على جميع التراكيز، وبنسبة انخفاض 34.68% مقارنة بالشاهد عدا التركيز 2.25 سم^3/ لتر لم يصل الفرق بينهما إلى حد المعنوية. وتتفق هذه النتائج مع ما وجده[13,14] من أن رش نبات الخيار بالمستخلص المائي للثوم سجّل أقل القيم بانخفاض معنوي لعدد الأزهار المذكرة/ نبات. وقد يعود السبب في ذلك إلى احتواء الثوم على مواد تشبه في عملها عمل الهرمونات الجنسية الطبيعية.[27]

تأتي أهمية دراسة هذا المؤشر في الخيار من خلال تأثير أعداد الأزهار الذكرية الكلية في النسبة الجنسية في النبات، ويُعد هذا المؤشر جيداً كلما انخفضت فيها أعداد الأزهار الذكرية مقارنة بالأعداد الأنثوية، ولكن إلى الحد الذي يؤمن توفير حبوب لقاح كافية لتلقيح الأزهار الأنثوية.[7] وهذا الذي حصل عند الرش بالمستخلص المائي لفصوص الثوم بتركيز 3.75 سم^3/ لتر؛ ما أدى إلى خفض عدد الأزهار الذكرية من دون التأثير في عدد الثمار العاقدة. وقلة عدد الأزهار المذكرة يعزى إلى وجود مثبّطات في مستخلص الثوم تعاكس عمل الجبرلين.[16] حيث إن مستخلص الثوم يحتوي على مركب (*Diallyl Disulphide*) الذي يثبّط بناء (*Mevalonic acid*)،[17] وأن المركب الأخير هو المركب البادئ للجبرلين، كما أن احتواء مستخلص الثوم على الحامض الأمينى المثيونين،[18] الذي يعتبر المركب البادئ للإيثيلين، وأن الإيثيلين يعاكس عمل الجبرلين،[19] وهكذا سيقل عدد الأزهار الذكرية.[20] في حين أن زيادة الكربوهيدرات في مستخلص الثوم تقلل من عدد الأزهار الذكرية.[21]

جدول 1: تأثير الرش بالمستخلص المائي للثوم في صفات النمو الزهري (موقع أول زهرة أنثوية، عدد الأزهار المؤنثة/ نبات وعدد الأزهار المذكرة/ نبات) لمحصول الخيار صنف بيت ألفا.

مستخلص الثوم	الصفات المدروسة		
التركيز سم^3/ لتر	موقع أول زهرة انثوية	عدد الأزهار المؤنثة/ نبات	عدد الأزهار المذكرة/ نبات
الشاهد (ماء مقطر)	6.55	37.93	41.51
1.25	6.00	38.91	39.91
2.50	5.55	39.21	32.61
3.75	4.98	40.00	30.82
5.00	7.38	31.11	36.91
6.25	8.58	29.51	40.55
7.50	10.11	26.55	43.56
LSD (5%)	1.33	2.15	2.33

4-4 النسبة الجنسية

أظهرت النتائج الواردة في جدول 2 أن الرش بالمستخلص المائي للثوم بتركيز 3.75 سم^3/لتر أدى إلى زيادة معنوية للنسبة الجنسية بـ 29.58% مقارنة بالشاهد، وبتفوق معنوي على جميع التراكيز، ويعزى السبب في ذلك إلى أن الرش بالمستخلص المائي للثوم قد أدى إلى انخفاض هذه النسبة؛ مما يدل على دور مستخلص الثوم في انخفاض النسبة الجنسية من خلال خفض عدد الأزهار الذكرية وزيادة عدد الأزهار الأنثوية، وتختلف هذه النتائج مع ما وجده[13، 14] من أن رش نبات الخيار بالمستخلص المائي للثوم بتركيز 2.50 سم^3/ لتر أدى إلى انخفاض النسبة الجنسية. وقد تعود هذه النتيجة إلى زيادة عدد الأزهار الأنثوية على حساب الأزهار الذكرية، ومن ثم قلة النسبة الجنسية؛ إذ ترتبط هذه النسبة عكسياً ومعنوياً عند مستوى احتمال (LSD) 5%.

5-4 النسبة المئوية للأزهار العاقدة %

أشارت النتائج المبينة في جدول 2 إلى أن النسبة المئوية للأزهار العاقدة زادت بنسبة مقدارها 12.01% عند الرش بالمستخلص المائي للثوم بتركيز5 سم^3/ لتر مقارنة بالشاهد بنسبة مقدارها 12.44% مقارنة بالتركيز الأعلى وبتفوق معنوي على جميع التراكيز. وتتفق النتائج مع ما توصل إليه[13، 14، 22] من أن النسبة المئوية للأزهار العاقدة تزداد عند رش نبات الخيار بمستخلص الثوم.

6-4 الحاصل الكلي طن/هكتار

أظهرت النتائج المبينة في جدول 2 أن الرش بالمستخلص المائي للثوم بتركيز 3.75 سم^3/ لتر أدى إلى زيادة المحصول الكلى بنسبة مقدارها 11.74% مقارنة بالشاهد وبنسبة مقدارها 18.73% مقارنة بالتركيز الأعلى وبتفوق معنوي على

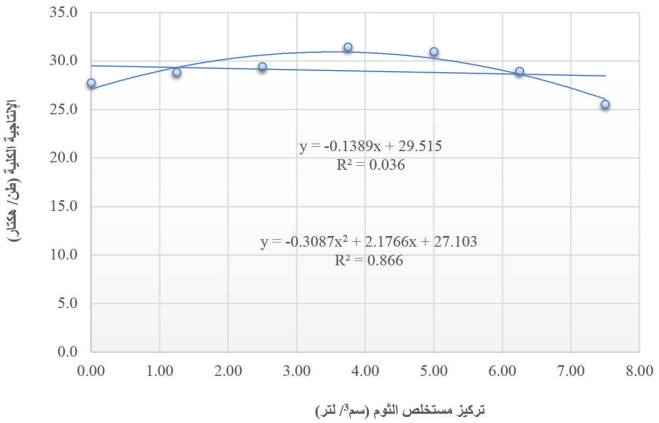
جميع التراكيز عدا التركيزين 2.5 و5 سم^3/ لتر لم يصل الفرق بينهما إلى حد المعنوية. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه[10] من أن حقن أو رش أزهار نبات القرع بمستخلص الثوم يؤدي إلى زيادة الحاصل الكلي، وتتفق النتائج مع ما توصل إليه[13،14] من أن رش نبات الخيار بمستخلص الثوم أدى إلى زيادة المحصول الكلي، كما تتفق النتائج مع ما وجده[28] من أن استخدام مستخلص الثوم أدى إلى زيادة المحصول الكلي لنبات الطماطم.

جدول 2: تأثير الرش بالمستخلص المائي للثوم في صفات النمو الزهري (النسبة الجنسية والنسبة المئوية للأزهار العاقدة %) والمحصول الكلي لنبات الخيار صنف بيت ألفا.

مستخلص فصوص الثوم	الصفات المدروسة		
التركيز (سم^3/ لتر)	النسبة الجنسية	النسبة المئوية للأزهار العاقدة (%)	المحصول الكلي (طن/ هكتار)
الشاهد (ماء مقطر)	0.914	51.13	27.75
1.25	0.966	51.99	28.85
2.50	1.202	52.98	29.44
3.75	1.298	53.86	31.44
5.00	0.843	58.11	30.98
6.25	0.728	54.33	28.95
7.50	0.610	50.88	25.55
LSD (5%)	0.234	1.54	2.30

7-4 منحنى استجابة المحصول الكلي لنبات الخيار للرش بالمستخلص المائي للثوم

الاستجابات الخطية والتربيعية لإجمالي محصول الخيار (طن هكتار-1) لمستويات مختلفة من الرش الورقي لمستخلص الثوم (0.00، 1.25، 2.50، 3.75، 5.00، 6.25، 7.50 سم^3/ لتر) موضحة في الشكل 1. وقد تم تحسين قيمة الانحدار التربيعي (R^2) من 3.6% (خطي) إلى 86.6% (تربيعي). ويلاحظ أن النموذج التربيعي أكثر ملاءمة من النموذج الخطي، وهذا بدوره يشير إلى أن 86.6% من التباين في إجمالي إنتاج الخيار قد تم تفسيره من خلال نموذج الانحدار التربيعي، مع زيادة مستوى استخدام مستخلص الثوم بمقدار 1.0 سم^3/ لتر، وكان من المحتمل أن ينخفض إجمالي إنتاج الخيار بمقدار 139 كغم/ هكتار. وفي المنحنى التربيعي، إذا تم رش مستخلص الثوم الورقي بمستوى 3.53 سم^3/ لتر، فإن من المتوقع أن يكون الحد الأقصى لإجمالي محصول الخيار 30.94 طناً/ هكتار.



شكل 1. تأثير الرش بالمستخلص المائي للثوم في الحاصل الكلي لمحصول الخيار صنف بيت ألفا.

5- الاستنتاجات

من خلال النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يمكن القول إن الرش بالمستخلص المائي للثوم بتركيز3.75سم^3/ لتر حقق أعلى القيم وبفارق معنوي لأهم الصفات المدروسة (عدد الأزهار المؤنثة/ نبات، والنسبة الجنسية، والمحصول الكلي طن/ هكتار)، بينما أعطت المعاملة نفسها أقل القيم وبانخفاض معنوي لكلٍ من موقع أول زهرة أنثوية وعدد الأزهار المذكرة/ نبات؛ حيث حدث نقص معنوي مقارنة بالمعاملات الأخرى، وبذلك يمكن للمزارع العادي تحضير هذا التركيز واستخدامه في مزرعته نظراً إلى توافر الثوم وسهولة تحضير التركيز. ومن خلال النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يمكن القول إنه تم تحسين قيمة الانحدار التربيعي (R^2) من 3.6% (خطي) إلى 86.6% (تربيعي) ويلاحظ أن الانحدار في صورة المنحنى التربيعي أظهر كفاءة أعلى عن الصورة في المنحنى الخطي في تفسير نقص أو زيادة الإنتاج المرتبط بنقص أو زيادة تركيزات مستخلص فصوص الثوم. وفي المنحنى التربيعي، إذا تم رش مستخلص الثوم الورقي بمستوى 3.53 سم^3/ لتر، فمن المتوقع أن يكون الحد الأقصى لإجمالي محصول الخيار 30.94 طناً/ هكتار.

المراجع

1. حسن أ ع أ. إنتاج محاصيل الخضر. الطبعة الثانية. القاهرة. الدار العربية للنشر والتوزيع؛ 2012، 711 ص.
2. Arora SK, Pandita ML, Partap PS, Sidhu AS. Effect of ethephon, gibberellic acid, and maleic hydrazide on vegetative growth, flowering, and fruiting of cucurbitaceous crops. Journal of the American Society for Horticultural Science (USA). 1985;110(3):442–445.
3. الإدارة العامة للإحصاء والتوثيق الزراعي. كتاب الإحصاء الزراعي. وزارة الزراعة والري، الجمهورية اليمنية، صنعاء. 2014ص 1124.
4. الدجوى ع. موسعة النباتات الطبية والعطرية. الطبعة الاولى. القاهرة. مكتبة مدبولي. 1996; ص 175–177.
5. Sumathi T, Ponnuswami V. Anatomical changes of cucumber (*Cucumis sativus* L.) leaves and roots as influenced by shade and fertigation. Advances in Natural and Applied Sciences. 2008;2(3):185–193.
6. Waseem K, Kamran QM, Jilani MS. Effect of different nitrogen levels on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Journal of Agricultural Research (Pakistan). 2008;46(3):259–266.
7. المختار ف ع، الزوبعي ح ع، رمان و ط، اسماعيل س ن. استنباط وتقويم هجينين محليين جديدين من نبات الخيار الخاصة بالزراعة لحقلية المكشوفة. مجلة اباء للأبحاث الزراعية. 1991; المجلد1، العدد 2، ص 43–56.
8. Lincoln RG, Mayfield DL, Cunningham A. Preparation of a floral initiating extract from *Xanthium*. Science. 1961;133(3455):756.
9. Lincoln RG, Mayfield DL, Hutchins RO, Cunningham A, Hamner KC, Carpenter BH. Floral initiation of *Xanthium* in response to application of an extract from a day-neutral plant. Nature. 1962;195:918.
10. Abou-Hussein MR, Fadl MS, Wally YA. Effect of garlic bulb extract on flowering, sex ratio, and yield of squash. II. Modulation of sex ratio by application of different fractions of garlic bulb extract. Egyptian Journal of Horticulture. 1975;2(1):11–22.
11. Helmy EMS. Response of summer squash to application methods of fresh garlic extracted by different solvents. Alexandria Journal of Agricultural Research (Egypt). 1992;37(3):125–142.
12. Abou-Hussein MR, Fadl MS, Wally YA. Effect of garlic bulb extract on flowering, sex ratio, and yield of squash. I. Effect of different fractions of partitioned garlic bulb extract on flowering in squash. Egyptian Journal of Horticulture, 1975;2(1):3–10.
13. حسين و ع، الركابي ف ح. تأثير الرش بالمستخلص المائي للثوم وجذور عرق السوس واليوريا في صفات النمو الزهري والحاصل لنبات الخيار *Cucumis sativus L*. . مجلة العلوم الزراعية العراقية.; 2006المجلد37، العدد 4، ص 27–32.
14. جاسم ع م، جري ع ن، فياض م ح. تأثير رش المستخلصات النباتية ومنظمات النمو النباتية في التزهير للنوعين النباتيين خيار القثاء (*Cucumis melo var. flexuoses Naud*) والخيار (*Cucumis sativus L.*). مجلة جامعة كربلاء. 2007; المجلد 5، العدد 4، ص 204–211.
15. Abou-Hussein MR, Fadl MS, Wally YA. Effect of garlic bulb crude extract on flowering, sex ratio and yield of squash [Iskandarani]. Egyptian Journal of Horticulture (Egypt). 1975;2(1):129–130.
16. Argüello JA, Bottini R, Luna R, De Bottini GA, Racca RW. Dormancy in garlic (*Allium sativum L.*) cv. Rosado Paraguayo I. Levels of growth substances in "seed cloves" under storage. Plant and Cell Physiology. 1983;24(8):1559–1563.
17. Om Kuma RV, Banerji A, Ramakrishna Kurup CK, Ramasarma T. The nature of inhibition of 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA reductase by garlic-derived diallyl disulfide. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)/Protein Structure and Molecular Enzymology. 1991;1078(2):219–225.
18. Cho SY, Lee SW. Studies on changes in the composition of garlic during growth III. Alliin amino acids in the bulbil. Journal of the Korean Society for Horticultural Science. 1974;15(1):11–13.
19. Robinson RW, Whitakar TW, Bohn GW. Promotion of pistillate flowering cucurbits by treatment with ethrel, an ethylene releasing compound. Planta. 1970;86:69–76.
20. Al-Juboory KH, Splittstoesser WE. Effect of gibberellic acid and ethephon on sex expression and yield of gynoecious cucumbers. The Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 1994;25(1):34–41.
21. Park YB, Lee BY. The effect of seed bulb storage temperature and storage period on the carbohydrate and endogenous hormone contents of Northern and Southern ecotypes of garlic in Cheju. Horticultural Abstracts. 1989;59:940.
22. حسين و ع. تأثير مستخلص الثوم وجذور عرق السوس واليوريا في صفات النمو الخضري والزهري والحاصل والصفات النوعية في نبات الخيار *Cucumis sativus L.* رسالة ماجستير فى علم البستنة ،جامعة بغداد، العراق؛ 2002. عدد الصفحات 134.
23. Abo-Arab RB, Helal RM, AL-Aidy YA. Bioresidual activity of certain oils and plant extraction on some stored grain insects in relation with quality of wheat grain. Journal of Agricultural Sciences, Mansoura University. 1998;23:5641–5653.
24. Shafeek MR, Helmy YI, Ahmed AA, Ghoname AA. Effect of foliar application of growth regulators (GA3 and Ethereal) on growth, sex expression and yield of summer squash plants (*Cucurbita peop* L.) under plastic house condition. International Journal of ChemTech Research. 2016;9(6):70–76.
25. Mahmood YA, Mohammed IQ, Ahmed FW. Effect of organic fertilizer and foliar application with garlic extract, whey and bio fertilizer of bread yeast in availability of NPK in soil and plant, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Plant Archives. 2020;20(1):151–158.
26. SAS. Statistical analysis system. SAS users guide. Cary, NC: SAS Institute; 1994. 16 pp.
27. العلوى س ع أ. التداخلات البايوكيمياوية بين النباتات والحيوانات. عمادة كلية الزراعة-قسم وقاية النبات، الدراسات العليا. 1986;.
28. Ahmad RAH. The effect of usage two methods of garlic extraction (foliar and ground application) on the growth of the tomatoes (*Solanum lycopersicum*) plant. Journal of Physics: Conference Series. 2021;1879:022021. IOP Publishing.

المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.12
المجلة العربية للبحث العلمي، 2022، 1 من 7

ورقة بحثية

تأثير إضافة بعض المضافات الغذائية إلى وسط زراعة فطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*) في إنتاجيته ونوعيته

بشرى هولا[1*]، رمزي مرشد[2]، فهد البيسكي[3]، حجازي محمد حسين مندو[3]

[1] الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سوريا
[2] قسم علوم البستنة– كلية الزراعة - جامعة دمشق، سوريا
[3] الهيئة العامة للتقانة الحيوية، دمشق، سورية
Email: BoushraHd1@outlook.com *

الملخص

نُفذت هذه الدراسة بهدف تقييم كفاءة إضافة بعض المضافات الغذائية (فول الصويا، وحبوب القمح، ونخالة القمح) إلى وسط الزراعة (نشارة الخشب) في الصفات الإنتاجية والنوعية لفطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*). وقد أُضيفت المضافات السابقة بثلاثة تراكيز: 10 و20 و30% إلى وسط الزراعة. ودُرست الإنتاجية والكفاءة الحيوية لكل معاملة وتأثيرها في التركيب الكيميائي للأجسام الثمرية. أظهرت النتائج تفوّق معظم معاملات المضافات الغذائية بمختلف التراكيز على الشاهد، حيث أعطت معاملة الوسط المضاف إليه فول الصويا بتركيز 20% أعلى إنتاجية (286.0 غ/ كغ وسط رطب) وأعلى كفاءة حيوية (114.40%) وأعلى نسبة رماد (8.037%). وتفوقت الأجسام الثمرية النامية على الأوساط المضاف إليها فول الصويا بتركيز 30% من حيث نسبة البروتين (26.56%)، كما تفوقت الأجسام النامية على الأوساط المضاف إليها حبوب القمح بتركيز 30% من حيث نسبة المادة الجافة (21.60%). أما بالنسبة إلى الكربوهيدرات والألياف، فقد تفوقت الأجسام النامية على الأوساط المضاف إليها نخالة القمح بتركيز 20% (67.74%، 6.750%، على التوالي). وخلصت الدراسة إلى أن إضافة المغذيات إلى وسط زراعة فطر ملك المحاري زادت الإنتاجية والكفاءة الحيوية، وحسنت من الصفات النوعية للأجسام الثمرية.

الكلمات المفتاحية: فطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*)، المضافات الغذائية، الإنتاجية، المحتوى الغذائي.

Title

Effects of adding supplements to the cultivation medium of King Oyster Mushroom (Plerrotus eryngii): Production and Quality

Boushra Hola[1], Ramzi Murshed[2], Fahed Albiski[3], Hijazi Mohamed Hussein[3] Mando

[1] General Commission for Scientific Agricultural Research, Damascus, Syria.
[2] Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Damascus, Damascus, Syria.
[3] National Commission of Biotechnology, Damascus, Syria.

Abstract:

This study was conducted to assess the efficiency of adding some supplements (soybeans, wheat grains, and wheat bran) to the cultivation medium (sawdust) in improving the productive and qualitative characteristics of *Pleurotus eryngii* (king mushrooms). Three concentrations 10, 20, 30% of each supplement were added to the cultivation medium. The productivity and biological efficiency of each treatment and its impact on chemical composition of the fruit bodies were studied. The results showed that most treatments with the various concentrations of additives were superior to the control treatment. Medium supplemented with 20% soybean gave the highest productivity (286.0 g/kg wet medium), the highest biological efficiency (114.40%) and the highest ash content (8.037%). Whereas, fruit bodies grown on media supplemented with soybeans at a concentration

Received 20 March 2022; accepted 17 July 2022; published 31 October 2022.

© 2022 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Hola B, Murshed R, Albiski F, Mando HMH. Effects of adding supplements to the cultivation medium of King Oyster Mushroom (Plerrotus eryngii): Production and Quality. Arabian Journal of Scientific Research 2022:2.12. https://doi.org/10.5339/ajsr.2022.12

of 30% outperformed other treatments in protein content (26.56%). Fruit bodies grown in media containing 30% wheat grain were superior in their dry matter content (21.60%). Carbohydrates and fiber contents were the highest in fruit bodies grown in media supplemented with 20% wheat bran (67.74% and 6.750%, respectively). In conclusion, the addition of nutritional supplements to the cultivation medium of oyster king mushrooms increased productivity and biological efficiency, and also improved the qualitative qualities of fruit bodies.

Keywords: Oyster King *Pleurotus eryngii*, supplements, productivity, nutritional content.

1- المقدمة

يعد فطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*) من أهم أنواع الجنس (*Pleurotus*)، والذي ينتمي إلى فصيلة (*Pleurotaceae*)، وشعبة الفطور الدعامية (*Basidiomycota*)، وصف الغاريقونيات (*Agaricomyce-tes*)، ورتبة الغاريقونيات (*Agaricales*).[1] ويعتبر أفضل أنواع الجنس (*Pleurotus*) المأكولة، ذا طعم لذيذ ومميز، إضافةً إلى عمره التخزيني الطويل نسبياً.[2] ويتميز هذا النوع عن بقية أنواع الفطور المحارية بطعمه، وبقبعة (pileus) محمرة أو بنية رمادية اللون (إلى صفراء)، قليلة الحراشف، ذات صفائح بيضاء، رمادية.[3] وتحمل القبعة التي يتراوح قطرها 3-12 سم على ساق بيضاء سميكة تقع في مركز القبعة، ويبلغ طولها 3-10 سم.[4] الفطر منخفض الدهون، والسعرات الحرارية، وغني بفيتاميني (D) و(K)، وأحياناً بفيتاميني (C) و(A).[5] كما يحتوي فيتامين (B) الذي يحمي من التهابات الجلد، والأغشية المخاطية، والأمعاء، ويحوي الأملاح والإنزيمات المساعدة على الهضم (24 إنزيمًا)، وحمض الفوليك الذي يحمي الجسم من فقر الدم، وهو من المصادر الجيدة والممتازة للبروتينات.[6] ويضاف إلى ذلك وجود الكولين الذي يحمي الجسم من تراكم المواد الدهنية، ويمنع نزيف الكلى، وتضخم الطحال، والأهم من ذلك أن الفطر يحتوي على مواد مضادة للسرطان مثل المضاد الحيوي نيبلارين (Neblarine)، الذي يُستخدم في علاج الأورام السرطانية والوقاية منها، كما ويمثل الفطر مجموعة من المستقلبات ذات الأهمية الدوائية مثل: مضادات التورم، ومضاد للتسمم، ومضادات الأكسدة، ومضادات الالتهابات، ومضاد ارتفاع ضغط الدم، ومضادات الميكروبات، والأنشطة المضادة للفيروسات.[7] وأشار بحث آخر أُجري في الولايات المتحدة إلى أن زيادة تناول الأطعمة منخفضة الطاقة، مثل فطر المحاري، يمنع الإصابة بالبدانة ويقوي جهاز المناعة.

يعدّ فطر ملك المحاري من فطريات العفن الأبيض، وله قدرة عالية على تحليل المواد السليليوزية واللغنينية بسبب إفرازه العديد من الإنزيمات المحللة مثل (Peroxidase) و(Laccase) و(Xylanase) وغيرها الكثير.[8] وهذا ميّزه بالقدرة على النمو الجيد على العديد من المخلفات النباتية والزراعية. وقد قامت بلدان عديدة بتنميته تجارياً بحسب المخلفات الزراعية المتوافرة في كل بلد.[9] وأجرى الباحث (Abou Fayssal) وزملاؤه بحثاً باستخدام مخلفات تقليم الزيتون كمواد مضافة إلى وسط الزراعة التجاري المكون من قش القمح، وبينت نتائج الدراسة أن إضافة نسبة قليلة من نواتج تقليم الزيتون إلى وسط الزراعة التجاري أدت إلى تقليل دورة نمو الفطر، بينما سمحت إضافة نسبة مرتفعة من نواتج تقليم الزيتون بإنتاج غلات عالية.[10] وأكدت دراسة أخرى للباحث السابق وزملائه أن استخدام نواتج تقليم الزيتون وتفل القهوة كمضافات غذائية إلى وسط الزراعة التجاري (قش القمح) بنسب منخفضة أعطت أجساماً ثمرية تتمتع ببعض الصفات الغذائية المحسنة كانخفاض نسبة الدهون، وزيادة نسبة البروتين، وزيادة نسبة الأحماض الدهنية الأحادية غير المشبعة، وانخفاض تراكم الزنك.[11]

هناك عدة أنظمة لزراعة فطر ملك المحاري في العالم، وهي: نظام الزراعة ضمن الأكياس؛ حيث يُزرع الفطر بأكياس بولي بروبلين أو بولي إيثلين سعة 0.5-3 كغ وسط زراعة/ كيس، ونظام الزراعة ضمن المرطبانات: ويتميز هذا النظام بالمكننة العالية وإمكانية الاستخدام المتكرر للمرطبانات القابلة للتعقيم، ونظام الزراعة الخارجي، وهنا يتم إنتاج الأكياس ضمن المنشأة ثم تنقل إلى الحقل وتغطّى بالتربة لتثمر في وقت لاحق.[12]

أُجريت عدة دراسات بشأن التركيب العام لفطر ملك المحاري،[13،14] وأُجريت أيضاً دراسات أخرى لبعض المكونات، على سبيل المثال الكربوهيدرات،[15] والسيترولات،[16] والأحماض الدهنية والفيتامينات،[17] ومضادات الأكسدة، حيث يمكن أن يوصى به كخافض للكولسترول، ويساعد أيضاً في تحسين الحساسية ضد الإنسولين.[18]

لا يزال فطر ملك المحاري غير معروف جيداً بين المزارعين في سورية، على الرغم من طعمه الممتاز، وتقنية زراعته البسيطة نسبياً، وامتلاكه فرصاً واعدة للزراعة والاستهلاك؛ إذ يمكن أن يقدّم فطر ملك المحاري إمكانيات واعدة لمعالجة نفايات الخشب الناجمة عن المناشر بطريقة صديقة للبيئة، وقد تصبح زراعته أحد الأعمال الزراعية الأكثر ربحية، والتي يمكن أن تنتج مادة غذائية من هذه المخلفات. لذلك، كان الهدف من هذا البحث دراسة إمكانية استخدام بعض المكملات الغذائية كمدعمات لوسط نمو فطر ملك المحاري المكون من نشارة الخشب وتأثيرها في صفاته النوعية والإنتاجية.

2- مواد البحث وطرائقه

2-1 مكان وزمان تنفيذ البحث

نُفّذ البحث في مخبر الفطر الزراعي في قسم علوم البستنة – كلية الزراعة بجامعة دمشق، ومخابر الهيئة العامة للتقانة الحيوية في دمشق ضمن حرم كلية الزراعة بجامعة دمشق، وذلك في الفترة 2018-2019.

2-2 سلالة الفطر المدروسة

استُخدم في هذا البحث فطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*)، السلالة (M2600) من شركة (Mycelia) البلجيكية، والتي تعدّ سريعة الإثمار، وذات غلة جيدة، والأجسام الثمرية ذات جودة عالية، وساق بيضاء ضخمة، وقبعة بنية فاتحة ذات تزيينات بنية داكنة قطرها (7- 10سم)، وقد تم الحصول على هذه السلالة من الهيئة العامة للتقانة الحيوية.

2-3 تحضير أوساط الزراعة

وُزنت كل مكونات أوساط الزراعة وهي جافة، ثم نُقعت نشارة الخشب (وسط الزراعة) والمضافات الغذائية (حبوب فول صويا، وحبوب القمح) في ماء الصنبور، وهي مياه عذبة وصالحة للشرب، لمدة 24 ساعة مع تقليبها جيداً لضمان توزيع الرطوبة بشكل متجانس، ثم صُفِّيَت من الماء جيداً، ونقعت نخالة القمح بماء ساخن قبل التعقيم مباشرة، وتم التأكد من ذلك باستخدام طريقة «اختبار قبضة اليد» (Palm Test Method)، وذلك بأخذ حفنة من الوسط باليد وعصرها بقوة، إذ يجب أن يترك الوسط رطوبة على قبضة اليد، مع وجود بضع قطرات صغيرة من الماء عند قاعدة الأصابع، من دون أن يسيل الماء من بين الأصابع، مما يدل على أن رطوبة الوسط مناسبة

للزراعة، ثم سُلِقَت كل من حبوب القمح وفول الصويا لمدة 30 دقيقة، حتى أصبحت الحبوب طرية وممتلئة بالماء، ثم صُفِّيَت وتُركت حتى تبرد، ثم وُزنت المواد المطلوبة بحسب المعاملات، وخُلطت كل معاملة مع المضافات، بحسب النسب المذكورة سابقاً محسوبة على أساس الوزن الجاف، ثم تم عمل عمود فارغ في مركز المرطبان للتهوية كما ذكر بعض الباحثين،[4] وأُغلقت بفلاتر مكونة من طبقتين من ورق الألمنيوم المثقب تتوسطهما طبقة قطن، ثم وُضعت المرطبانات في الأوتوكلاف (Made in South Korea, J.S.R.) لمدة 4 ساعات عند الدرجة 130° س.[19] أُخرجت المرطبانات من الأوتوكلاف وتركت لمدة 24 ساعة في حرارة المخبر، حتى تبرد ثم لُقحت الأوساط ببذار الفطر بنسبة 7% من الوزن الرطب للوسط،[4] ثم وُضعت المرطبانات في غرفة التحضين عند درجة حرارة 25±1° س، ومن دون ترطيب أو إضاءة أو تهوية، مع متابعة النمو يومياً حتى اكتمال نمو المشيجة على جميع الأوساط. نُقلت المرطبانات بعد اكتمال نمو المشيجة إلى غرفة الإنضاج عند درجة حرارة 20±2° س، ورطوبة 80-85% حتى اكتمال الإنضاج، ثم نُزعت الأغطية وتم التحريض على الإثمار بخفض درجة الحرارة إلى 15-17° س وتشغيل الإضاءة بشدة قدرها 1500-2000 لوكس لمدة 12 ساعة يوميًا، ورفع الرطوبة إلى 90-95%، وزيادة التهوية للحفاظ على تركيز غاز CO_2 منخفض في الغرفة، وتم الحفاظ على هذه الشروط طوال فترة الإثمار، ثم تم الحصول على الأجسام الثمرية لفطر ملك المحاري بعد زراعتها على وسط نشارة الخشب المُكمل بثلاثة مكملات غذائية، بثلاثة تراكيز (10، 20، 30%) لكل منها. وتم الحصول على 500غ من الأجسام الثمرية الناضجة من كل معاملة من القطفة الأولى، وقُطعت إلى شرائح، وجُففت عند درجة 45° س، لمدة 3 أيام، مع التقليب، حيث أعطت أفضل لون للثمار، وطُحنت بعد ثبات الوزن بواسطة مطحنة كهربائية مخبرية (Made in Germany, Retsch MM301)، إلى مسحوق ناعم، وخُزنت في عبوات بلاستيكية محكمة الإغلاق، وأجريت جميع التحاليل على مسحوق الفطر الجاف.

4-2 المؤشرات المدروسة

1-4-2 المؤشرات الإنتاجية

- **الإنتاجية:** جُمعت أوزان الأجسام الثمرية الناتجة من كل القطفات، وتم التعبير عنها على أساس الوزن الرطب للأجسام الثمرية (غ) الناتج من 1 كغ من الوزن الرطب لوسط الزراعة.[20]
- **الكفاءة الحيوية:** وهي مقياس لكفاءة إنتاج وسط الزراعة، وتحسب بالمعادلة التالية: الكفاءة الحيوية (%) = (الوزن الرطب للأجسام الثمرية (غ)/ الوزن الجاف لوسط الزراعة (كغ)) × 100.[20]

2-4-2 التركيب الكيميائي

أجريت التحاليل الكيميائية للأجسام الثمرية الكاملة للفطر من القطفة الأولى وشملت: النسبة المئوية للرطوبة، والمادة الجافة، والألياف، والرماد، والكربوهيدرات، والدهن، والبروتين. وقدرت النسبة المئوية لكل من المادة الجافة، والألياف، والرماد، والكربوهيدرات، وفق الطرائق المعتمدة للتقديرات الأساسية في تحليل الأغذية والأعلاف (AOAC) المعدلة،[21] المستخدمة من الباحث (Palazzolo) وزملائه.[22]

- **نسبة المادة الجافة الكلية:** ولحساب هذه النسبة تم العمل على مرحلتين:
  - أُخذت الأجسام الثمرية ونُظفت وقُطعت القبعة والساق إلى أجزاء صغيرة للحصول على تجفيف أفضل.[23] وكانت درجة الحرارة المستخدمة في التجفيف منخفضة للمحافظة على النوعية، ولكن ليس في بداية عملية التجفيف لتجنب التعفن،[24] لذلك جُففَت الأجسام الثمرية عند درجة حرارة 45° س في فرن جاف لمدة 3 أيام مع التقليب، وطُحنت بعد ثبات الوزن بواسطة مطحنة كهربائية مخبرية إلى مسحوق ناعم، وخُزنت في عبوات بلاستيكية محكمة الإغلاق. وحُسبت النسبة كما يلي: نسبة المادة الجافة بعد التجفيف الأوّلي (%) = (وزن العينة الجاف/ وزن العينة الرطب) × 100.[22]
  - حُسبت نسبة المادة الجافة الكلية بأخذ 5غ من العينة المجففة سابقًا والمطحونة، وجُففت في فرن حراري عند درجة حرارة 105° س لمدة 4 ساعات حتى ثبات الوزن، وُزنت بعدها العينة الجافة وحُسبت النسبة كما يلي:

$$\text{نسبة المادة الجافة (\%)} = \frac{\text{وزن العينة بعد التجفيف النهائي}}{\text{وزن العينة بعد التجفيف الأولي}} \times 100.[22]$$

- **النسبة المئوية للبروتين:** تم تقدير نسبة البروتين بحسب طريقة كلداهل (Keldahel method)،[21] عن طريق حساب نسبة الآزوت وفق المراحل التالية:
  - مرحلة الهضم: تم وزن 1غ من العينة الجافة والمطحونة ووضعها في أنبوب كلداهل، وأضيف إليها كبريتات البوتاسيوم وماءات النحاس بنسبة 10/1، وأضيف 20 مل من حمض الكبريت المركز (98%) و2 مل ماء أوكسجيني، ووُضعت الأنابيب في الجهاز وسُخنت عند درجة حرارة 420° س لمدة ساعتين، ثم تركت حتى تبرد.
  - مرحلة التقطير والمعايرة: وُضع كل أنبوب على جهاز التقطير، حيث يضاف إليه أوتوماتيكيًا ماء مقطر وماءات الصوديوم (40%) وفي دورق الاستقبال حمض البوريك، وتتم المعايرة لمدة 2.30 دقيقة، ويضاف إليها أثناء المعايرة حمض الكبريت (1%) نظامي؛ لمعايرة ماءات النشادر المنطلقة من الأنبوب في دورق الاستقبال، وذلك عن طريق تغير قيمة رقم الحموضة (pH) في الدورق، ثم تؤخذ قراءة حمض الكبريت وتحسب نسبة الآزوت والبروتين حسب المعادلة التالية:

$$\text{بروتين \%} = \frac{\text{حجم المعايرة} \times \text{النظامية} \times 1.4 \text{ معامل التحويل إلى أزوت} \times 6.25}{\text{وزن العينة}}$$

- **النسبة المئوية للدهون:** قُدرت نسبة الدهون في مسحوق الأجسام الثمرية الجاف بجهاز الاستخلاص المستمر (Soxhlet apparatus)، إذ وضع 5غ من الأجسام الثمرية المجففة والمطحونة في كشتبان (Thimble) الاستخلاص السيليلوزي، واستعمل الهكسان مذيبًا للاستخلاص، وجرى الاستخلاص لمدة 6 ساعات، تلتها عملية إزالة المذيب بجهاز المبخر الدوار عند درجة حرارة 45° س، وبعد الوزن حُسبت النسبة المئوية للدهون في العينة.
- **تقدير النسبة المئوية للرماد:** قُدرت نسبة الرماد بأخذ 2غ من الأجسام الثمرية المجففة والمطحونة وحرقها في فرن الترميد عند درجة حرارة 550° س لمدة 3 ساعات إلى حين الوصول إلى رماد لونه أبيض، وبعد الوزن حُسبت النسبة المئوية للرماد وفق المعادلة التالية:

$$\text{النسبة المئوية للرماد} = \frac{\text{وزن العينة المرمدة}}{\text{وزن العينة قبل الترميد}} \times 100$$

- **تقدير النسبة المئوية للألياف الخام:** أُخذ 1غ من الأجسام الثمرية المجففة والمطحونة بعد إزالة الدهون بواسطة المذيب (n-hexane)، وأضيف إليها 150 مل من حامض الكبريتيك بتركيز 1.25 نظامية، ووضعت في حمام مائي مغلي لمدة 30 دقيقة، وغُسلت بالماء الحار ثم أُضيف إليها 150 مل من هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 1.25 نظامية، ثم وضعت

في حمام ماء يغلي لمدة 30 دقيقة، وبعدها غُسلت بماء مغلي ثم نُقل المتبقي إلى جفنة خزفية موزونة مسبقًا، ورُمز إلى وزن الجفنة الأول بـ (W1)، ثم جُففت لمدة ساعتين في فرن جاف عند درجة حرارة 130° س، ثم وُزنت الجفنة ورُمز إليها بعد التجفيف بـ (W2)، وأخيرًا تم حرقها في فرن الترميد لمدة ساعتين ونصف عند درجة حرارة 600° س، وبعدها وُزنت الجفنة مرة أخرى ورُمز إلى وزنها النهائي بـ (W3)، وحُسبت النسبة المئوية للألياف الخام وفق المعادلة التالية[22]:

النسبة المئوية للألياف= {(w1-w3)-(w1-w2)/وزن العينة} × 100

- **تقدير نسبة الكربوهيدرات:** قُدرت النسبة المئوية للكربوهيدرات حسب المعادلة التالية:

الكربوهيدرات 100- = (نسبة المادة الجافة + نسبة البروتين + نسبة الدهون + نسبة الرماد + نسبة الألياف).[25]

5-2 تصميم التجربة والتحليل الإحصائي

استُخدم في تنفيذ البحث تصميم التوزيع العشوائي التام، وحُللت النتائج إحصائيًا باستخدام البرنامج الإحصائي (XLSTAT 2014)، وأُجرِيَ تحليل التباين (ANOVA) وفق اختبار (Fisher)، وقُورِنَ بين المتوسطات بحساب قيمة أقل فرق معنوي (L.S.D.) عند مستوى ثقة 95%، وتم استخدام 6 مكررات لكل معاملة.

3- النتائج والمناقشة

1-3 الإنتاجية والكفاءة الحيوية

أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين معاملات المضافات المستخدمة وبجميع التراكيز، إذ تفوقت معاملة فول الصويا بتركيز 20% من حيث الإنتاجية (286.0 غ/كغ وسط رطب)، والكفاءة الحيوية (114.40%)، على بقية المعاملات بفروق معنوية بما فيها معاملة الشاهد الذي أعطى إنتاجية (189.6 غ/كغ)، وكفاءة حيوية (75.78%)، تلتها معاملة حبوب القمح بتركيز 20% بإنتاجية بلغت (224.8 غ/كغ)، وكفاءة حيوية بلغت (89.92%)، وبفروق معنوية مع معاملات نخالة القمح بتركيز 20% بإنتاجية بلغت (179.2 غ/كغ) وكفاءة حيوية بلغت (71.69%) (جدول 1). ومن المعلوم أن إنتاجية الفطور اللحمية تعتمد أساسًا على قدرة الفطر على استغلال المغذيات الموجودة في الوسط، وهذا ما وجده الباحث (Manso) وزملاؤه، والذين بينوا أن الفطر (*P. ostreatus*) رغم تحقيقه نموًا سريعًا على وسط معين، فإن إنتاجيته كانت ضعيفة في الوسط، مبيّنين أن الإنتاجية ترتبط بقدرة المشيجة على استغلال المغذيات في الوسط، وليس بسرعة النمو عليه.[26] وقد يُعزى التفاوت في الإنتاج بين المعاملات إلى اختلاف مكوناتها من العناصر الغذائية، ومدى ملاءمة هذه المكونات لتعزيز إثمار الفطر، ولا سيما متطلبات عنصر النيتروجين في الوسط، كما أن أنواع الفطور اللحمية تتباين بتأثرها بالمحتوى النيتروجيني للوسط، إذ إن ارتفاع تركيزه قد يزيد من نمو المشيجة ولكن يخفض من الإنتاجية، ويعود ذلك إلى تراكم مركبات الأيض الثانوية نتيجة ازدياد نشاط المشيجة مؤدية إلى تثبيط تكون الأجسام الثمرية، كذلك ارتفاع محتوى الوسط من النيتروجين يؤدي إلى الإخلال بنسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N) عن الحدود المثالية ما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية الفطر.[27] وللمضافات دور مهم، إضافة إلى تزويد الفطر بالمواد الغذائية اللازمة، فقد ذكرت الدراسات أن إضافة المضافات إلى الوسط تزيد من الإنتاج، وذلك بسبب زيادة قدرة الوسط على احتجاز كمية أكبر من الماء؛ مما يشجع نمو وتطور الأجسام الثمرية،[28] كما أن تفاوت الكفاءة الحيوية للفطور اللحمية يرجع إلى أسباب كثيرة كونها تتعلق بقدرة الفطر على تحويل المادة الأولية في الوسط إلى ثمار، وما يتعلق بذلك من تأثير الظروف البيئية ونوع الوسط نفسه،[4] وعلى نوع المضاف الغذائي المستخدم في الوسط، وهذا يتوافق مع نتائج الباحثَين (Biswas) و(Layak).[29]

جدول 1. تأثير إضافة المضافات الغذائية إلى وسط زراعة فطر ملك المحاري في الإنتاجية (غ فطر طازج/ كغ وسط رطب) والكفاءة الحيوية (%)، والقيم في الجدول تمثل المتوسطات (M) ± الخطأ القياسي (S.E.).

المعاملة	الإنتاجية	الكفاءة الحيوية
شاهد (نشارة خشب 100%)	189.6±24.43^{cd}	75.78±9.77^{cd}
نشارة 90 + حبوب قمح 10%	157.9±11.87^{defg}	63.16±4.75^{defg}
نشارة 90 + فول صويا 10%	201.5±6.848^{bc}	80.61±2.738^{bc}
نشارة 90 + نخالة قمح 10%	16.45^{def} 164.5±	±6.639^{def} 65.22
نشارة 80 + حبوب قمح 20%	224.8±8.813^{b}	89.92±3.526^{b}
نشارة 80 + فول صويا 20%	286.0±13.12^{a}	114.40±5.24^{a}
نشارة 80 + نخالة قمح 20%	179.2±7.104^{cde}	71.69±2.842^{cde}
نشارة 70 + حبوب القمح 30%	100.2±4.967^{h}	40.09±1.988^{h}
نشارة 70 + فول الصويا 30%	159.8±13.17^{defg}	63.49±5.267^{defg}
نشارة 70 + نخالة قمح 30%	128.0±11.40^{gh}	51.21±4.559^{gh}
$LSD_{0.05}$	35.17	14.07

* تشير الأحرف المختلفة ضمن العمود الواحد إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 95%.

2-3 المحتوى الكيميائي للأجسام الثمرية

أظهرت النتائج تباين تأثير إضافة المضافات الغذائية إلى وسط زراعة فطر ملك المحاري في التركيب الكيميائي للأجسام الثمرية، حيث تراوحت نسبة المادة الجافة بين 7.07-21.60%، ولوحظ تفوق معاملة حبوب القمح بتركيز 30% (21.60%) على جميع المعاملات، تلتها معاملة الشاهد (14.68%) ومن دون فروق معنوية مقارنةً ببقية المعاملات الأخرى، وكانت أقل نسبة للمادة الجافة في معاملة فول الصويا بتركيز 20% (7.07%) (جدول 2). وهذه النتائج متقاربة مع النتائج التي حصل عليها الباحث (Krüzselyi) وزملاؤه، حيث كانت (10.03%) في القبعة، و(19.36%) في الساق،[30] وكانت أعلى من النتائج التي حصل عليها آخرون والذين وجدوا أن نسبة المادة الجافة في أجسام فطر ملك المحاري (*P. eryngii*) كانت تتراوح بين 7.3-8.3%.[31]

وأظهرت النتائج أن نسبة البروتين في ثمار فطر ملك المحاري تباينت بشكل كبير، وتراوحت بين 6.54-26.56% وكانت الأعلى في معاملة فول الصويا بتركيزَي 30، و10% حيث بلغت النسبة 26.57 و26.50% على التوالي، تلتها معاملة نخالة القمح بتركيز 10%، وبلغت النسبة 19.90%، ومعاملة حبوب القمح بتركيز 20%، وبلغت النسبة 19.84% (جدول 2). وقد يعود الارتفاع الملحوظ في نسبة البروتين في المعاملات المختلفة إلى طبيعة الفطر وقدرته على استغلال المغذيات من الأوساط التي ينمو عليها، فقد

ذكر الباحث (Punelli) وزملاؤه أن أنواع الفطر المحاري تتميز بإفراز مدى واسع من الإنزيمات المحللة للمادة العضوية.[32] وهذه النتائج تتفق مع ما وجده الباحثان (Akyuze) و(Kirbag) بأن نسب البروتين ارتفعت في ثمار فطر ملك المحاري (*P. eryngii*) وصولًا إلى 29.9% عند إضافة مخلفات فول الصويا ونخالة الرز إلى وسط تبن القمح وبفروق معنوية مع المعاملات الأخرى.[33]

تباينت قيم الدهون، لكن من دون وجود فروق معنوية، حيث تراوحت قيمتها بين 2.190-4.390% وهذه البيانات أقل من نتائج الباحث (Dundar) (7.50)%،[34] حيث سجلت كل من معاملة نخالة القمح، وحبوب القمح، وفول الصويا بتركيز 10% أعلى نسبة للدهون، حيث بلغت 4.390، و4.090، و3.490%، على التوالي، في حين أعطت معاملة نخالة القمح بتركيز 30% أقل نسبة للدهون، بلغت 2.190% (جدول 2). لكن هذه النتائج مقاربة لنتائج (Akyuz) و(Kirbag) اللذين وجدا أن نسبة الدهون في ثمار ملك المحاري (*P. eryngii*) تتفاوت بحسب نوع الوسط وقد تراوحت بين 2.9–4.1%.[33]

بينت نتائج هذه الدراسة أن نسبة الكربوهيدرات لم تتباين بشكل كبير عند إضافة المضافات الغذائية إلى الوسط، وتراوح إجمالي محتوى الكربوهيدرات بين 47.53-67.74%، وقد تحققت أعلى نسبة من المواد الكربوهيدراتية في الثمار الناتجة من معاملة نخالة القمح بتركيز 20%؛ إذ بلغت 67.74%، ومن دون فروق معنوية مع معاملة فول الصويا بتركيز 20% حيث بلغت 62.94%، في حين كانت أقل نسبة للكربوهيدرات في معاملة حبوب القمح أو فول الصويا بتركيز 30% بمتوسط بلغ 47.53 و48.17%، على التوالي (جدول 2)، وهذه النتائج أعلى من نتائج الباحث (Dundar) الذي وجد أن محتوى ثمار فطر ملك المحاري (*P.eryngii*) من المواد الكربوهيدراتية بلغ 39.8%.[34]

أما بالنسبة إلى الألياف، فقد لوحظ أنه لم يكن هناك تأثير كبير لإضافة المضافات الغذائية المختلفة إلى وسط الزراعة في نسبة الألياف (جدول 2)، فتراوح محتوى الألياف بين 4.750-6.750% وهي قريبة من نتائج الباحثَين (Ulziijargal) و(Mau) (5.97%)،[35] ولكنها أقل من نتائج الباحث (Dundar) (28.45%)،[34] وقد أعطت نخالة القمح بتركيز 20% أعلى نسبة ألياف بلغت 6.750%، وبفروق معنوية مقارنةً بالشاهد 4.75%، وكانت أقل نسبة في معاملة فول الصويا بتركيز 20 و30%، إذ بلغت 4.8، 5%، على التوالي.

أما محتوى الرماد فلم يكن لإضافة المكملات أيّ تأثير في نسبة الرماد في الأجسام الثمرية؛ فقد بلغت 3.045-8.037% من المادة الجافة ومن دون وجود فروق معنوية بين المعاملات والشاهد، حيث سجلت معاملة فول الصويا بتركيز 20% أعلى نسبة للرماد بلغت 8.037%، بفروق معنوية مع الشاهد الذي بلغ 3.045% (جدول 2). وكانت النتائج متقاربة مع نتائج الباحث (Krüzselyi) وزملائه الذين وجدوا أن القبعة تحوي على رماد بنسبة 6.25%، بينما يحوي الساق على 4.53%،[30] وأيضًا مع تلك النتائج التي حصل عليها الباحث (Mau) وزملاؤه (5.15-7.21%)،[36] ومع نتائج الباحث (Manzi) وزملائه،[14] والباحثين (Fasiki) و(Ekuere) (6.9-10.5%).[37] إن ارتفاع نسبة الرماد في الأجسام الثمرية للفطر يمثل قيمة غذائية عالية، لأنه يعبّر عن المكونات غير العضوية التي تشمل العناصر المعدنية في الثمار. وقد ذكرت إحدى الدراسات أن القيمة الغذائية للفطريات اللحمية تتأثر بعوامل عدة أهمها نوع الوسط والتغاير الجيني والظروف البيئية التي يتعرض لها خلال مدة التنمية والإثمار وكذلك الأسلوب المتبع في التخزين ما بعد الجيني، ومن ثم فإن المعلومات المتوافرة حول القيمة الغذائية دائمًا تعطى على شكل مدى قد يتغير بتغير هذه الظروف.[38]

جدول 2. تأثير إضافة المضافات الغذائية إلى وسط زراعة فطر ملك المحاري من حيث نسبة المادة الجافة، والرطوبة، والبروتين، والدهن، والكربوهيدرات، والرماد، والألياف، والقيم في الجدول تمثل المتوسطات (M) ± الخطأ القياسي (S.E.).

المعاملة	المادة الجافة (%)	رطوبة (%)	نسبة مئوية من المادة الجافة				
			البروتين	الدهن	الكربوهيدرات	الرماد	الألياف
شاهد (نشارة خشب)	14.68±2.52^{b}	85.32±2.52^{b}	17.74±4.635^{bc}	2.590±1.4^{a}	56.89±2.565^{bcd}	3.340±1.199^{bc}	4.750±0.25^{e}
حبوب قمح (10%)	9.74±0.9^{bc}	90.26±0.9^{ab}	17.15±5.795^{bc}	4.090±2.7^{a}	58.92±10.43^{abc}	4.841±2.087^{abc}	5.250±0.75^{de}
فول صويا (10%)	8.15±1.14^{c}	91.85±1.41^{a}	26.50±4.5^{a}	3.490±2.3^{a}	50.52±7.29^{cd}	5.340±1.398^{abc}	6±0.5^{bc}
نخالة قمح (10%)	10.14±2.145^{bc}	89.85±2.145^{ab}	19.90±5.7^{b}	4.390±3^{a}	54.75±8.21^{bcd}	5.319±1.155^{abc}	5.500±0.5^{cd}
حبوب قمح (20%)	9.28±0.66^{bc}	90.72±0.66^{ab}	19.84±4.48^{b}	2.190±1.2^{a}	59.40±6.23^{abc}	3.045±0.960^{c}	6.250±0.25^{ab}
فول صويا (20%)	7.07±0.695^{c}	92.93±0.695^{a}	14.06±1.11^{c}	3.090±1.9^{a}	62.94±4.915^{ab}	8.037±1.800^{a}	4.800±0.8^{e}
نخاله قمح (20%)	10.36±1.915^{bc}	89.64±1.915^{ab}	6.54±0.435^{d}	2.290±0.9^{a}	67.74±2.36^{a}	6.321±2.693^{abc}	6.750±0.25^{a}
حبوب القمح (30%)	21.60±7.185^{a}	78.39±7.185^{c}	16.74±3.44^{bc}	2.285±1.095^{a}	47.53±0.385^{d}	5.8±2.012^{abc}	6.250±0.25^{ab}
فول الصويا (30%)	11.58±1.485^{bc}	88.42±1.485^{ab}	26.56±3.615^{a}	2.285±1.095^{a}	48.17±4.95^{d}	6.409±1.226^{ab}	5±0.5^{de}
نخالة القمح (30%)	12.84±1.16^{bc}	87.16±1.16^{ab}	13.55±4.38^{c}	2.190±1^{a}	60.89±5.525^{ab}	4.276±1.058^{bc}	6.250±0.25^{ab}
$LSD_{0.05}$	6.145	6.145	5.673	2.449	10.023	3.334	0.687

* تشير الأحرف المختلفة ضمن العمود الواحد إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 95%.

4- الخلاصة

يتضح من نتائجنا أن مختلف أوساط نشارة الخشب المضاف إليها مضافات غذائية من فول الصويا أو حبوب القمح أو نخالة القمح يمكن اعتمادها وسطًا لزراعة فطر ملك المحاري (*Pleurotus eryngii*)، نظرًا إلى أن هذه المضافات، خصوصًا فول الصويا بتركيز 10 و20 و30%، زادت الإنتاجية والكفاءة الحيوية، وحسّنت الصفات النوعية للأجسام الثمرية. ومن بين المضافات المدروسة، وُجد أن الأجسام النامية على الأوساط المضاف إليها فول الصويا بتركيز 30% تحتوي على أعلى نسبة من البروتين، أما بالنسبة إلى الكربوهيدرات والألياف لوحظ تفوق الأجسام النامية على الأوساط المكملة بنخالة القمح بتركيز 20%.

5- المقترحات

- يمكن دراسة تبن القمح والمضافات الغذائية كوسط لزراعة فطر ملك المحاري لتوافره بأسعار رخيصة محلياً بدلاً من نشارة الخشب غير المتوافرة محليًا.
- دراسة إمكانية استخدام مخلفات زراعية وغذائية أخرى لزراعة فطر ملك المحاري.

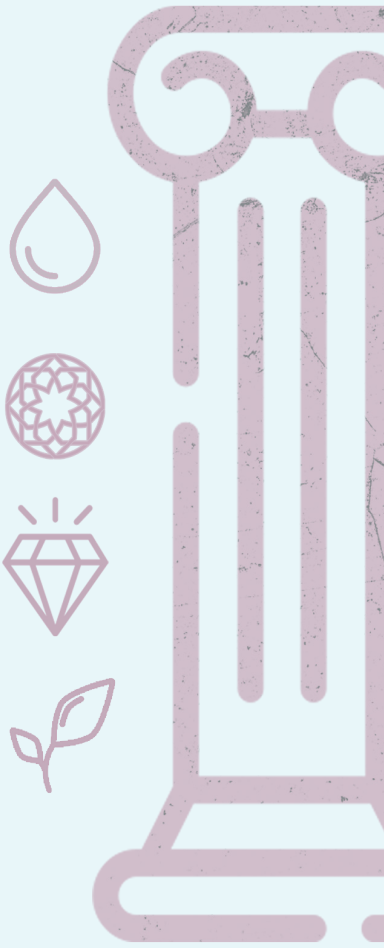
كلمة شكر

جامعة دمشق، الهيئة العامة للتقانات الحيوية، د. عبد اللطيف العساف على إجراء التحليل الكيميائي، د. موفق جبور للمساعدة في كتابة المقال.

المراجع

1. Hassan FRH, Medany GM, Abou S, Hussein SDA. Cultivation of the king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) in Egypt. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010;4(1):99–105.
2. Behnamian M, Mohammadi SA, Sonnenberg A, Goltapeh EM, Alavi A, Hendrickx P. Genetic diversity and population structure of Iranian wild *Pleurotus eryngii* species-complex strains revealed by URP-PCR markers. Journal of Food, Agriculture and Environment. 2010;8:1203–1207.
3. De Gioia T, Sisto D, Rana GL, Figiuolo G. Genetic structure of the *Pleurotus eryngii* species-complex. Mycological Research 2005;109:71–80.
4. Stamets P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. Hong Kong: Ten Speed Press; 1993. 554 pp.
5. Caglarirmak N. Analytical, nutritional and clinical methods. The nutrient of exotic mushrooms (*Lentinus edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. Food Chemistry. 2007;105(4):1188–1194.
6. Croan SC. Conversion of conifer wastes into edible and medicinal mushrooms. Forest Products Journal. 2004;54:68–76.
7. Sivrikaya H, Bacak L, Saracbasi A, Toroglu L, Eroglu H. Trace elements in *Pleurotus sajorcaju* cultivated on chemithermomechanical pulp for bio-bleaching. Food Chemistry. 2002;79:173–176.
8. Altaf SA, Umar DM, Mohammed MS. Production of xylanase by *Pleurotus eryngii* and *Flamulina velutipes* grown on different carbon sources under submerged fermentation. World Applied Sciences Journal. 2010;8:47–49.
9. Gregori A, Svagelj M, Pohleven J. Cultivation techniques and medicinal properties of *Pleurotus* spp. Food Technology and Biotechnology. 2007;45(3):238–249.
10. Abou Fayssal S, Alsanad MA, Yordanova MH, El Sebaaly Z, Najjar R, Sassine YN. Effect of olive pruning residues on substrate temperature and production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). Acta Horticulturae. 2021;1327:245–252.
11. Abou Fayssal S, El Sebaaly Z, Alsanad MA, Najjar,R, Bohme M, Yordanova MH, et al. Combined effect of olive pruning residues and spent coffee grounds on *Pleurotus ostreatus* production, composition, and nutritional value. PLoS ONE. 2021;16(9):e0255794.
12. Mando H. King oyster mushroom cultivation in Syria. Vol. 5. National Commission for Biotechnology; 2021. 19 pp.
13. Michael HW, Bultosa G, Pant LM. Nutritional contents of three edible oyster mushrooms grown on two substrates at Haramaya, Ethiopia and sensory properties of boiled mushroom and sauce. International Journal of Food Science and Technology. 2011;46:732–738.
14. Manzi P, Gambelli L, Marconi S, Vivanti V, Pizzoferrato L. Nutrients in edible mushrooms: An inter-species comparative study. Food Chemistry. 1999;65:477–482.
15. Liu X, Zhou B, Lin R, Jia L, Deng P, Fan K. Extraction and antioxidant activities of intracellular polysaccharide from *Pleurotus* sp. *mycelium*. International Journal of Biological Macromolecules. 2010;47:116–119.
16. Yaoita Y, Yoshihara Y, Kakuda R, Machida K, Kikuchi M. New sterols from two edible mushrooms *Pleurotus eryngii* and *Panellus serotinus*. Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 2002;50:551–553.
17. Akyuz M, Kirbag S, Karatepe M, Güvenc M, Zengin F. Vitamin and fatty acid composition of *P. eryngii* var. *eryngii*. Bitlis Eren University – Journal of Science and Technology. 2011;1:16–20.
18. Alam N, Yoon KN, Lee JS, Cho HJ, Shim MJ, Lee TS. Dietary effect of *Pleurotus eryngii* on biochemical function and histology in hypercholesterolemic rats. Saudi Journal of Biological Sciences. 2011;18:403–409.
19. Streilization Required For Infection Control: Council: Council On Dental Materials, Instruments and Equipment. The Journal of the American Dental Association. 1991 1;122(12):80. https://doi.org/10.14219/jada.archive.1991.0189
20. Andrade MC, Kopytowski FJ, Minhoni MT, Coutinho LN, Figueiredo MB. Productivity, biological efficiency, and number of *Agaricus blazei* mushrooms grown in compost in the presence of *Trichoderma* sp. and *Chaetomium olivacearum* contaminants. Brazilian Journal of Microbiology. 2007;38:243–247.
21. AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. Maryland: Association of Official Analytical Chemists International; 2000. 20877–2417.
22. Palazzolo E, Gargano ML, Venturella G. The nutritional composition of selected wild edible mushrooms from Sicily (southern Italy). International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2012;63:79–83.

23. Karthika K, Murugesan S. Cultivation and determination of nutritional value on edible mushroom *Pleurotus ulmarius*. International Journal of Emerging Research in Management and Technology. 2015;4(11):29–36.
24. Oei P. Small-scale mushroom cultivation. Wageningen, The Netherlands: Agromisa Foundation and CTA; 2005. 86 pp.
25. Manzi P, Aguzzi A, Pizzoferrato L. Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. Food Chemistry. 2001;73:321–325.
26. Frimpong-Manso J, Obodai M, Dzomeku M, Apertorgbor MM. Influence of rice husk on biological efficiency and nutrient content of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex. Fr.) Kummer .International Food Research Journal. 2011;18:249–254.
27. Chang ST, Miles PG. Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. 2nd ed. New York, CRC Press; 2004. 477 pp.
28. Nunes MD, da Luz JM, Paes SA, Ribeiro JJ, da Silva MD, Kasuya MC. Nitrogen supplementation on the productivity and the chemical composition of oyster mushroom. Journal of Food Research. 2012;1(2):113–119.
29. Biswas MK, Layak M. Techniques for increasing the biological efficiency of paddy straw mushroom (*Volvariella volvacea*) in eastern India. Food Science and Technology. 2014;2(4):52–57.
30. Kruzselyi D, Kovacs D, Vetter J. Chemical analysis of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) fruitbodies. Acta Alimentaria. 2016;45(1):20–27.
31. Akyuz M, Kirbag S. Effect of various agro-residues on nutritive value of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. Var. ferulae Lanzi. Journal of Agricultural Sciences. 2010;16:83–88.
32. Punelli F, Reverberi M, Porretta D, Nogarotto S, Fabbri AA, Fanelli C. Molecular characterization and enzymatic activity of laccases in two *Pleurotus* spp. with different pathogenic behavior. Mycological Research. 2009;113:381–387.
33. Akyuz M, Kirbag S. Antimicrobial activity of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* grown on various agro-wastes. EurAsian Journal of BioSciences. 2009;3:58–63.
34. Dundar A, Acay H, Yildiz A. Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. African Journal of Biotechnology. 2008;7:3497–3501.
35. Ulziijargal E, Mau JL. Nutrient compositions of culinary-medicinal mushroom fruiting bodies and mycelia. International Journal of Medicinal Mushrooms. 2011;13:343–349.
36. Mau JLY, Lin YP, Chen PT, Wu YH, Peng JT. Flavor compounds in king oyster mushrooms *Pleurotus eryngii*. Journal of Agricultural and Food. Chemistry. 1998;46:4587–4591.
37. Fasiki IO, Ekuere UU. Studies on *Pleurotus* tuber-regium (Fries) Singer: Cultivation, proximate composition and mineral contents of sclerotia. Food Chemistry. 1993;48(3):255–258.
38. Hung PV, Nhi NY. Nutritional composition and antioxidant capacity of several edible mushroom growing in southern Vietnam. International Food Research Journal. 2012;19(2):611–615.



منظمة المجتمع العلمي العربي
Arab Scientific Community Organization