



المجلة العربية للبحث العلمي

Arabian Journal of Scientific Research

Vol 2 issue 2 2021

مقترح لتطبيق مرصد تلوث الانبعاثات
الروبوسفيرية التابع لوكالة **ناسا**

رسالة في الميزان للأهوازي:
تحقيق ودراسة لنص في علم
الأثقال العربي من القرن الرابع

دور الاستشعار عن بعد في مراقبة
أطوار نمو **القمح** لدعم إدارة
العملية الإنتاجية في سوريا





ورقة بحثية

مقترح لتطبيق مرصد تلوث الانبعاثات التروبوسفيرية (TEMPO)
التابع لوكالة ناسا: حمولة مستضافة لرصد الغلاف الجوي من
مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO)
رائد محمد سليمان ، كلي تشانس ، شونج لو

01

ورقة بحثية

رسالة في الميزان للأهوازي: تحقيق ودراسة لنصّ
في علم الأثقال العربيّ من القرن الرابع الهجريّ
محمد أبطوي

08

ورقة بحثية

دور الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار
نمو القمح لدعم إدارة العملية الإنتاجية في سوريا
ناصر طرّاف إبراهيم

20

ورقة بحثية

التحليل الكروماتوغرافي - الكتلي لبعض المركبات الفعالة
حيويًا في اثنين من النباتات الطبية اليمينية
عيشة محمّد علي محسن ، عادل أحمد محمّد سعيد ، طه أبوبكر فضل سالم

38



ورقة بحثية

**تقييم فاعلية بعض المطهرات والمعقمات على البكتيريا
الزائفة (Pseudomonas) المعزولة من وحدة العناية المركزة
للمواليد في مستشفى مصراتة المركزي - ليبيا**

أبوبكر الرطب ، نورية المحجوب ، فوزية أبودينة

47

ورقة مراجعة

**مراقبة الأدوية العلاجية، الأساسيات والتحسين
(مراجعة الخبراء)**

أحمد شاكر علي ، و مهران شاكر عبد الرحمن

54

ورقة بحثية

**معالجة مادة المرجين بواسطة المبخر الطبيعي
بوصفه نموذجًا إيكولوجيًا: مثال من تونس**

وفاء حسن ، لطفي سوسية ، أسماء بلطيفة ، كريمة بكير ، عفيفة بلعيد ،
الهادي بن منصور

63

ورقة بحثية

مقترح لتطبيق مرصد تلوث الانبعاثات التروبوسفيرية (TEMPO) التابع لوكالة ناسا: حمولة مستضافة لرصد الغلاف الجوي من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO)

رائد محمد سليمان^{1*}، كلي تشانس¹، شونج لو¹

¹ مركز هارفارد سميثسونيان للفيزياء الفلكية، كامبريدج، ماساتشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية

*rsuleiman@cfa.harvard.edu

Note:

A version of this paper with old data, observations, and a slightly different field of regard (FOR) was published in English in the Journal of Physics: Conf. Series 869, 012085, doi:10.1088/1742-6596/869/012085, 2017. However, the text, the new field of view, and new data were analyzed to be part of this updated paper. This updated paper is significantly different from the previously published paper in 2017.

الملخص

اختارت ناسا مرصد تلوث الانبعاثات التروبوسفيرية، المعروف اختصاراً بـ «تمبو» (TEMPO)، ليكون أول مرصد من برنامج «مشروع أجهزة قياس الأرض» ليتم إطلاقه إلى الفضاء في نهاية عام 2022. وسيقيس «تمبو» تلوث الغلاف الجوي لقارة أمريكا الشمالية من الفضاء، باستخدام التحليل الطيفي المرئي والأشعة فوق البنفسجية؛ من مكسيكو سيتي وكوبا إلى منطقة أثاباسكا النفطية الكندية، ومن المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ، كل ساعة وبدقة مكانية عالية (2 كم غرب/شرق بـ 4.5 شمال/جنوب، عند 35.5 درجة شمالاً و100 درجة غرباً).

يوفر مرصد «تمبو» قياسات لطبقة التروبوسفير التي تشمل العناصر الرئيسية لتلوث الهواء التروبوسفيري، والعناصر التي تساهم في دورة الكربون. ونظراً إلى أن المراسد الموجودة في المجال المنخفض للأرض (LEO) لا يمكنها قياس كل نقطة على الأرض إلا مرة واحدة يوميًا، فلذلك ستكون قياسات «تمبو» من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO)؛ مما سيسمح بقياس كل نقطة في مجال الرؤية في آن واحد. ويتم إجراء قياسات جديدة كل ساعة من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض، وذلك من أجل التقاط التباين العالي الموجودة في الدورة النهارية للانبعاثات التي لا يمكن ملاحظتها من الأقمار الصناعية الحالية التي تدور حول الأرض في مدار منخفض (LEO)، لأنها تقيس كل مكان في مجال الرؤية مرة واحدة في اليوم. وستوفر قياسات «تمبو» من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض أيضاً مساحات عينة أرضية أصغر بكثير، لحل مصادر التلوث.

هناك ثلاثة مراصد لدراسة الغلاف الجوي للأرض قيد التطوير. في هذه الورقة، نصف مرصد «تمبو»، ونقترح مرصداً مماثلاً لقياس تلوث الغلاف الجوي للشرق الأوسط كل ساعة بدقة مكانية عالية جداً. وسيغطي المرصد المقترح للشرق الأوسط الدول العربية وأجزاء من آسيا وأوروبا. إذ مع ازدهار شركات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في الشرق الأوسط، مثل (Yahsat) و (ArabSat) و (NileSat)، والتي تقوم بتشغيل وتخطيط مستقبل مثل هذه الأقمار الصناعية في المدار الثابت بالنسبة إلى الأرض، هناك الكثير من الفرص لاستضافة حمولة مماثلة لأداة «تمبو» في إحدى مهماتها الفضائية المستقبلية. ستسمح هذه المشاريع المقترحة بجمع قياسات تلوث الغلاف الجوي كل ساعة، والتي تتضمن الأطياف المطلوبة لاسترداد الأوزون وثنائي أكسيد النيتروجين والفورمالديهايد وثنائي أكسيد الكبريت والجليوكسال وبخار الماء والهباء الجوي ومعلومات السحب والأشعة فوق البنفسجية (UVB).

الكلمات المفتاحية: تلوث الغلاف الجوي في المناطق الحضرية والإقليمية، تركيب طبقة التروبوسفير، انتقال طبقة التروبوسفير، الهباء الجوي.

Received 13 March 2021; accepted 24 August 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Suleiman RM, Chance K, Liu X. A Geostationary Atmospheric Monitor for the Middle East. Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.7. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.7>

Abstract

NASA selected TEMPO as the first Earth Venture Instrument in 2012 for launch in October 2022. TEMPO will use UV-Vis spectroscopy to measure atmospheric pollution for greater North America from space. TEMPO's Field of Regard (FOR) will be from Mexico City and Cuba to the Canadian tar sands and the Atlantic to the Pacific. Measurements will be hourly and at high spatial resolution (2 km N/S × 4.5 km E/W at 36.5°N, 100°W). TEMPO provides tropospheric measurements that include the principal elements of tropospheric air pollution. Low-Earth orbit (LEO) instruments can only measure each point on Earth once per day and lack time resolution. TEMPO will make measurements from a geostationary orbit (GEO), allowing it to measure each point in the field of view for about 16 hours per day. TEMPO provides a tropospheric measurement suite that includes the key elements of tropospheric air pollution and those contributing to the carbon cycle. Measurements are made hourly from GEO to capture the high variability present in the diurnal cycle of unobservable emissions from current LEO satellites that measure once per day. Due to the smaller spatial footprints, GEO measurements will be able to resolve pollution sources. Three geostationary instruments are being developed. NASA's TEMPO will be measuring North America. Two other instruments, Sentinel-4 (Under construction) and the South Korean GEMS (launched on February 18, 2020). They will measure atmospheric pollution for Europe and Southeast Asia. In this article, we explain NASA's TEMPO instrument. We suggest a comparable instrument in GEO to provide hourly atmospheric pollution measurements for the Middle East at very high spatial resolution. The proposed Middle-East TEMPO instrument will cover the Arab world and parts of Asia and Europe. The measurement will include the spectra required to retrieve O_3 , NO_2 , SO_2 , H_2CO , $C_2H_2O_2$, H_2O , aerosols, cloud parameters, and UVB radiation. This paper differs from our previous work; it has an updated Field of Regard (FOR), new tables, and data from the latest ESA's instrument, TROPOMI.

Keywords: Urban and regional atmospheric pollution, tropospheric composition, tropospheric transport, atmospheric aerosols

1- المقدمة

الملاحظات عالية الكثافة إحصاءات لحل الآثار الصحية المتعلقة بتلوث الهواء، على سبيل المثال زيادة قصور القلب والأعراض القلبية الرئوية الناتجة من زيادة التعرض للدخان.

وستشمل قياسات «تمبو» لطبقة التروبوسفير العناصر الرئيسية لتلوث الهواء التروبوسفيري. ونظرًا إلى أن المرصد في المدار الأرضي المنخفض (LEO) يمكنها قياس كل نقطة على الأرض مرة واحدة يوميًا فحسب، وتفتقر إلى دقة الوقت،³ فإن قياسات «تمبو» ستكون من مدار جغرافي ثابت (GEO)، من أجل التقاط التباين العالي في الدورة النهارية للانبعاثات. وستوفر قياسات (GEO) أيضًا مساحات مكانية أصغر بكثير من تلك التي يوفرها (LEO)، وذلك لحل مصادر التلوث على نطاقات مكانية صغيرة. ستتم استضافة «تمبو» على مركبة فضائية تجارية في مدار (GEO) لتوفير مهمة قليلة التكلفة. وسيكون «تمبو» جزءًا من الكوكبة العالمية الثابتة بالنسبة إلى الأرض (GEO) لرصد التلوث جنبًا إلى جنب مع الأوروبي «سنيتل-4» والكوري الجنوبي «جيمس». وقد تم إطلاق الأخير في صيف 2020، في حين سيتم إطلاق «سنيتل-4» خلال عام 2022. وستجري هذه المرصدين الثلاثة أول قياسات للغازات النزرة في طبقة التروبوسفير من المدار الأرضي التزامني (GEO). وقد تم بناء قياسات «تمبو» على تراث ستة¹³⁻³ مرصدين طيفية في المدار الأرضي المنخفض (LEO).^{14,4} وتم تطوير خوارزميات «تمبو» لاسترجاع الطيف بواسطة أعضاء فريق «تمبو» العلمي استنادًا إلى الخوارزميات التشغيلية التي تعمل حاليًا في بيئات التشغيل بالمرصدين الطيفية في المدار الأرضي المنخفض.^{16,15}

نقترح في هذه الورقة أن يتم بناء مرصد مماثل لتوفير قياسات تلوث الغلاف الجوي كل ساعة للشرق الأوسط سيغطي الدول العربية وأجزاء من آسيا وأوروبا. وستشمل القياسات الأطياف المطلوبة لاسترداد الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت، والفورمالديهايد، والجليوكسال، وبخار الماء، والهباء الجوي، ومعلومات السحب، والأشعة فوق البنفسجية (UVB). فعلى سبيل المثال، ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، وهو غير صحي للتنفس، هو عضو في عائلة أكاسيد النيتروجين ($NO_x = NO + NO_2$) وهو مكون ضروري لتكوين مستويات

هناك ثلاثة مرصدين ثابتة بالنسبة إلى الأرض لدراسة الغلاف الجوي قيد التطوير. سيقاس مرصد «تمبو» (TEMPO) التابع لوكالة ناسا تلوث الغلاف الجوي لأمريكا الشمالية، في حين يقيس «سنيتل-4» (Sentinel-4) الأوروبي و«جيمس» (GEMS) الكوري الجنوبي تلوث الغلاف الجوي لأوروبا وجنوب شرق آسيا، على التوالي. والجدير بالذكر أن «جيمس» يعدّ توكًا لـ «تمبو». تقترح هذه الورقة مرصدًا مشابهًا لـ «تمبو» ليتم وضعه كحمولة مستضافة على المدار الثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO) لتوفير تغطية شبه مستمرة لغلاف الشرق الأوسط بدقة مكانية عالية جدًا. هناك الكثير من الفرص لاستضافة حمولة مماثلة لأداة «تمبو» من قبل شركات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في الشرق الأوسط، مثل (Yahsat) و (ArabSat) و (NileSat). وسيسمح مشروع تمبو المقترح بجمع قياسات تلوث الغلاف الجوي كل ساعة والتي تتضمن الأطياف المطلوبة لاسترداد الأوزون وثاني أكسيد النيتروجين والفورمالديهايد وثاني أكسيد الكبريت والجليوكسال وبخار الماء والهباء الجوي ومعلومات السحب والأشعة فوق البنفسجية (UVB). أحد الأسئلة التي يحاول «تمبو» الإجابة عنها: كيف يتسبب تلوث الهواء في التأثير المناخي، وكيف يؤثر تغير المناخ في جودة الهواء على نطاق مجال الرؤية؟

أنواع جودة الهواء، وخاصة الأوزون والهباء الجوي وسلانها هي قوى إشعاعية مناخية قصيرة العمر. ووفقًا للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، فإنها قد تؤثر على نحو أكبر في تغير المناخ في العشرين عامًا القادمة من زيادة ثاني أكسيد الكربون. وتشمل تأثيرات المناخ في جودة الهواء زيادة إنتاج الأوزون التروبوسفيري والجسيمات، بما في ذلك الكربون الأسود والغبار والهباء الجوي العضوي الثانوي. ويمكن أن تحدث زيادة الأوزون بسبب تأثيرات درجة الحرارة في كيمياء الأوزون وزيادة انبعاثات السلائف. وتأتي الجسيمات المتزايدة من المزيد من حرائق الغابات والعواصف الترابية وزيادة انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة من الإجهاد الحراري على الغطاء النباتي.

ستساهم القياسات التي سيوفرها «تمبو» في دعم الدراسة الوبائية لجودة الهواء والتأثيرات الصحية للتعرض للأشعة فوق البنفسجية. وستوفر

غير صحية من الأوزون السطحي (O_3)، وهو ملوث مهم آخر. ويتم إنشاؤه بشكل أساسي أثناء احتراق الوقود الأحفوري، لذا فإن محطات الطاقة الحرارية والسيارات هي المصادر الرئيسية لإنتاجه. ومن المعروف أن الشرق الأوسط يحتوي على نسب عالية من تلوث ثاني أكسيد النيتروجين.¹⁷

في المحور الثاني من الورقة نقدم تلخيصاً لمشروع «تمبو» والمنتجات التي يمكن قياسها، ونبين أهمية الرصد من مدار ثابت (GEO) حول الأرض. في المحور الثالث نعرض تطبيق مشروع «تمبو» للشرق الأوسط ونبين فوائد المشروع للمنطقة وكجزء من الكوكبة العالمية الثابتة بالنسبة إلى الأرض (GEO) لرصد التلوث. ونعرض في هذا البحث مجاًلاً جديداً للرؤية وبيانات جديدة من مرصد (TROPOMI) لم تُعرض في بحثنا السابق.¹⁸

2- الانبعاثات التروبوسفيرية: رصد التلوث (تمبو)

في هذا المحور، نصف مرصد «تمبو» التابع لوكالة ناسا والذي سيكون حمولة مستضافة على ساتلايت للاتصالات فوق الولايات المتحدة الأمريكية (100 درجة غرباً).

1-2 وصف مرصد «تمبو» التابع لناسا ومنتجات البيانات التي سيتم رصدها

سيقاس «تمبو» تلوث الغلاف الجوي لأمريكا الشمالية من الفضاء باستخدام التحليل الطيفي والأشعة فوق البنفسجية. وستشمل بيانات «تمبو» قياس الأطياف المطلوبة للحصول على الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت، والفورمالديهايد، والجليوكسال، وبخار الماء، والهباء الجوي، ومعلومات السحب، والأشعة فوق البنفسجية (UVB). وسيوفر «تمبو» منتجات جودة الهواء في الوقت الفعلي تقريباً والتي سيتم إتاحتها على نطاق واسع للجمهور عن طريق تطبيقات على الأجهزة المحمولة.

الجدول 2. منتجات «تمبو» الأساسية.¹⁸

المنتجات	القيمة النموذجية ¹	الدقة المطلوبة ¹	الدقة المتوقعة ²	عادي ¹	أسوأ ¹
الأوزون	40	10	9.00	9.15	9.00
التروبوسفير الحر (ppbv)	50	10	4.95	5.03	4.95
عمود الأوزون الستراتوسفيري	8×10^3	5%	0.76%	0.81%	0.76%
مجموع الأوزون	8×10^3	5%	0.76%	0.81%	0.76%
ثاني أكسيد النيتروجين	6	1.00	0.45	0.65	0.45
الفورمالديهايد (3 مرات باليوم)	10	10.0	1.95	2.30	1.95
ثاني أكسيد الكبريت (3 مرات باليوم)	10	10	5.70	8.54	5.70
الجليوكسال (3 مرات باليوم)	0.2	0.4	0.17	0.23	0.17
العمق البصري للهباء الجوي	0.1 – 1	0.05	0.034	0.041	0.034
العمق البصري لامتصاص الهباء الجوي	0.05 – 0	0.03	0.020	0.025	0.020
مؤشر الهباء الجوي	-1 + 5	0.2	0.13	0.16	0.13
جزء السحابة	0 – 1	0.05	0.011	0.015	0.011
الضغط العلوي للسحابة (هيكوباسكال)	200 – 900	100	60.0	85.0	60.0

الدقة المكانية: 4.5×8 كم² في مركز مجال الرؤية. دقة الوقت: كل ساعة ما لم يُذكر.

¹ الوحدات عبارة عن 10^{15} جزيئات سم⁻² للغازات، وعديمة الوحدة للهباء الجوي والسحب ما لم يتم تحديد ذلك.

² الدقة المتوقعة تعتمد على حالة الرصد. النتائج للحالات الاسمية.

تعمل البصمة المكانية الصغيرة للعنصر المقيس على حل مصادر التلوث على نطاق شبه حضري. وتعمل هذه الاستبانة الزمنية والمكانية معاً على تحسين قوائم جرد الانبعاثات، ومراقبة تعرض السكان للانبعاثات، وتمكين استراتيجيات فعالة للتحكم في الانبعاثات.

يبين الجدول (1) معامل «تمبو» الرئيسية لقمر صناعي (GEO) ثابت بالنسبة إلى الأرض عند 100 درجة غرباً. نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR or S/N) هي متوسط القيمة على نوافذ الاسترجاع المحددة لطيف الإشعاع الاسمي. (IFOV) هو مجال الرؤية اللحظي عند 36.5 درجة شمالاً، 100 درجة غرباً.

الجدول 1. معامل (TEMPO) الرئيسية.

معلومات	القيمة
الكتلة	148 كغم
الحجم	$1.4 \times 1.1 \times 1.2$ متر
متوسط القوة التشغيلية	163 واط
النطاق الطيفي	290 – 490 نانومتراً و 540 – 740 نانومتراً
الدقة الطيفية وأخذ العينات	0.57 نانومتر و 0.2 نانومتر
عدم اليقين في معايرة «البيدو» (Albedo)	2.0% غير معتمد على (λ) و 0.8% معتمد على (λ)

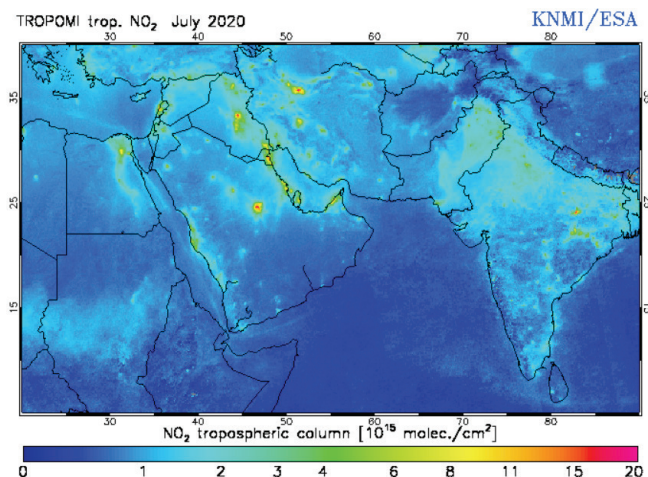
سيقوم «تمبو» بقياس الأوزون، ومجموع الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت (3 مرات باليوم)، والفورمالديهايد (3 مرات باليوم)، والجليوكسال (3 مرات باليوم)، وبخار الماء، والهباء الجوي، ومعلومات السحب (ينظر الجدول 2).

3- الانبعاثات التروبوسفيرية في الشرق الأوسط: رصد التلوث (تمبو الشرق أوسطي)

في هذا المحور، نصف مرصد «تمبو» التابع لوكالة ناسا، ونسلط الضوء على كيفية تطبيق وبناء مرصد ثابت مماثل فوق منطقة الشرق الأوسط.

1-3 تطبيق تمبو على الشرق الأوسط

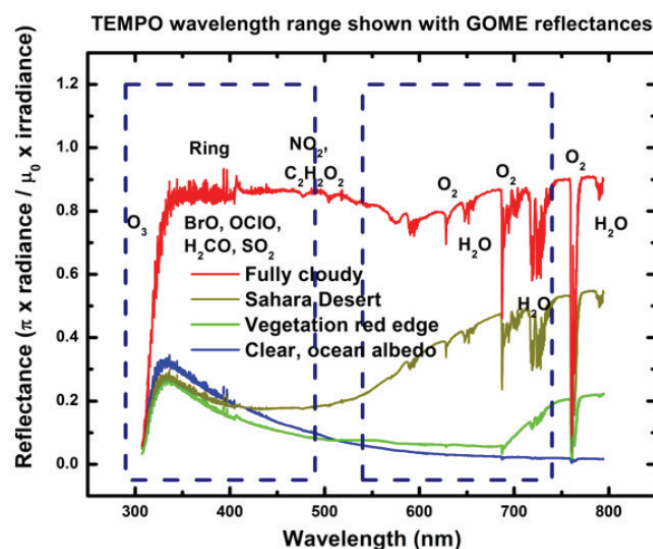
يمكن تطبيق مفهوم مرصد «تمبو» وتصميمه على منطقة الشرق الأوسط من دون أي تغييرات كبيرة أو ملموسة في البصريات أو التصميم العام للتلسكوب. وسوف يمتد مجال الرؤية لمرصد تمبو الشرق الأوسط من (7.2°N) إلى (41.0°N) ومن (8.4°W) إلى (88.1°E)، ومركز مجال الرؤية مكة المكرمة (21.42°N, 39.83°E).



الشكل 2. تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) من مرصد (TROPOMI) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمنطقة الشرق الأوسط؛ ويلاحظ أماكن التلوث في منطقة الخليج العربي.

تبلغ الدقة المكانية لمرصد تمبو الشرق الأوسط (4.68 N/S x 1.67 E/W) (ب- كم²) دقة البكسل الأصلية 7.81 كم². وستكون هذه الدقة المكانية أفضل من دقة «تمبو» التابع لوكالة ناسا لنفس مجال الرؤية اللحظية، لأنها ستكون أقرب إلى خط الاستواء.

«تمبو» هو مطياف محزوز مشتت يقيس الضوء المرتد للشمس في النطاق الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية، وذلك لقياس أثر الغازات والهباء الجوي والسحب. يعتمد مرصد «تمبو» على تراث التجميع الفرعي لعناصر مراصد (LEO) مع تعديل عمليات تشغيل لتكون مناسبة لمدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO). وتقوم مرآة المسح بخطوات متتالية بتحريك فتحة مقياس الطيف في مجال الرؤية من الشرق إلى الغرب. يصور تلسكوب ثلاثي المرآة المشهد من خلال فتحة مقياس طيف من نوع هوفر. ويتم تصوير الأطياف على صفيحتين (2K x 1K) من المستوى البؤري لجهازي اقتران «سي سي دي». ويقيس أحد الصفيحتين (2K) بكسل أرضي من 290-490 نانومترًا، والآخر من 540-740 نانومترًا²¹ (ينظر الشكل 1). ويوضح الشكل (1) مدى أطياف إشعاع الأرض المتوقعة التي سيتم قياسها بواسطة «تمبو»، وهي مشابهة لما يمكن قياسها من أي كوكب يشبه الأرض. وقد تم اشتقاق الأطياف²¹ من قياسات مرصد «جوم-1» (GOME-1) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية (إيسا)^{14,4} ويغطي مشاهد متنوعة مقيسة فوق سطح الأرض.

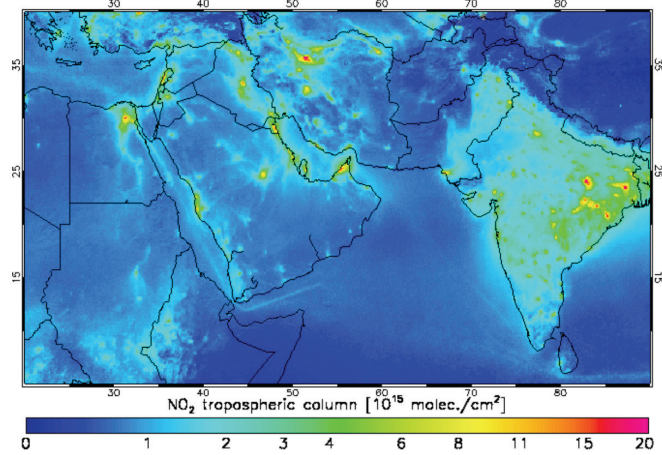


الشكل 1. أطياف الانعكاسات من الأرض المستمدة من مرصد (GOME-1) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمجموعة من الظروف التي يمكن أن يرصدها «تمبو»¹⁸.

إن الاستبانة المكانية والزمانية المحسنة لقياسات «تمبو» مناسبة بشكل مثالي لتقيد أنظمة التنبؤ بجودة الهواء الإقليمية (AQ) التي تستخدم أنظمة استيعاب البيانات الكيميائية العالمية التي تم تطويرها لاستخدام بيانات الغازات المقيسة من المدار الأرضي المنخفض¹⁸. وستستفيد أنظمة التنبؤ هذه بشكل كبير من عمليات المراقبة المتعددة التي يقوم بها «تمبو» لمنطقة معينة كل يوم بدقة أفقية تتناسب مع تنبؤات (AQ) الإقليمية. وإضافة إلى ذلك، وبما أن «تمبو» يقيس طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية، فهذا سيتم الحصول على الأوزون التروبوسفيري¹⁹ وتحسين تحليل واستيعاب تركيزات الأوزون السطحية (القريبة من سطح الأرض)، وتقليل الأخطاء بنسبة 50%.²⁰ كما تسمح الاستبانة المكانية والزمانية العالية بتقييم أكثر تفصيلاً لقوائم جرد الانبعاثات، مما هو ممكن من خلال المراصد الموجودة في المدار الأرضي المنخفض²¹.

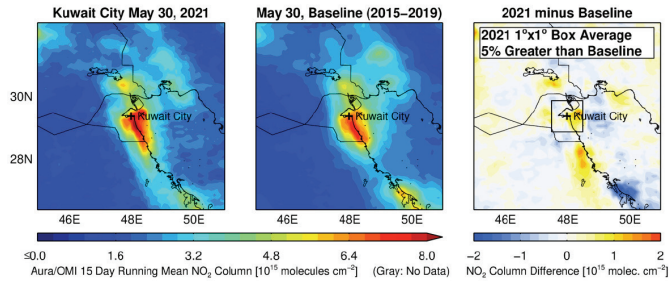
4- المناقشة

من أهم العناصر التي يتم قياسها هو ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، وكما نرى من الشكلين (3) و(4) فإن منطقة الشرق الأوسط تحتوي على نسب



الشكل 4. تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) في مارس 2021 من مرصد (TROPOMI) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمنطقة الشرق الأوسط. (Credit: KNMI/ESA)

وهناك زيادة في نسبة ثاني أكسيد النيتروجين في الشرق الأوسط، ويمكن ملاحظة ذلك من بيانات المراصد في المدار المنخفض بالنسبة إلى الأرض. ويبين الشكل (5) تركيز ثاني أكسيد النيتروجين من مرصد (OMI) لمدينة الكويت. وعند أخذ بيانات كأساس للفترة 2015-2019 ليوم 15 مايو، وطرحنا من نفس بيانات اليوم لسنة 2021، ونظرنا إلى منطقة بمساحة درجة مربعة حول مدينة الكويت، نجد أن هناك زيادة بثاني أكسيد النيتروجين بحوالي 5%²².



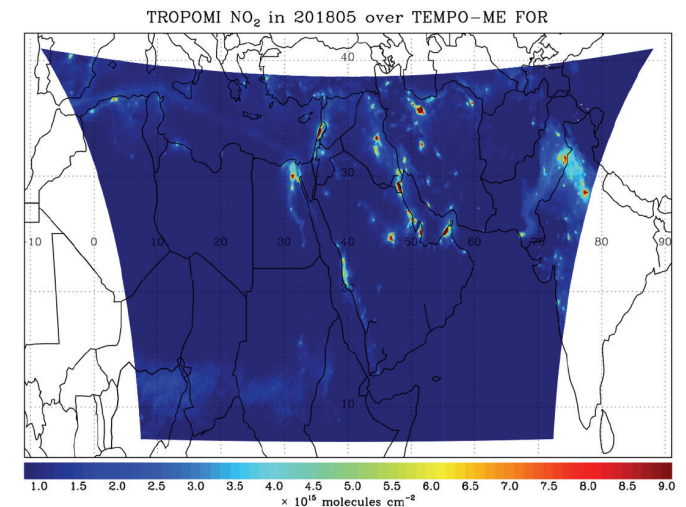
الشكل 5. تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) في مايو 2021 من مرصد (OMI) لمدينة الكويت (الصورة اليسرى)؛ بيانات (NO_2) للفترة 2019-2015 (الصورة الوسطى)؛ تركيز (NO_2) بعد أخذ الفرق (الصورة اليمنى).²²

يوجد مرصد (TROPOMI) و (OMI) في مدار منخفض حول الأرض (LEO)، ويرصدان كل منطقة على سطح الأرض مرة باليوم. فلذلك، تم تجميع القياسات اليومية لمدة شهر ودمجها للحصول على الصورة في الشكلين (3) و(4). ولكن المرصد المقترح مثل «تمبو» في مدار ثابت فوق الشرق الأوسط، سيتيح الحصول على الصورة نفسها (الشكل 3 أو الشكل 4) مرة كل ساعة باليوم. ويمكن أن يجمع تمبو الشرق الأوسط أطراف الأضواء الليلية عندما تكون الشمس < 60 درجة من خط التسديد أو عندما تغمر الأرض الشمس بالكامل (الأضواء الليلية). ومن إحدى الميزات الأخرى لوجود المرصد في مدار ثابت فوق الشرق الأوسط أن مساحة العينة الأرضية ستكون أصغر بكثير من مراصد (TROPOMI)، و (OMI)، و (GOME-2) وهذا واضح من الشكل (6).

الجدول 3. معطيات الدقة والمساحة المكانية لمرصد «تمبو» الشرق أوسطي

الموقع	N/S (km)	E/W (km)	مساحة العينة الأرضية (km^2)
مركز مجال الرؤية (مكة المكرمة)	4.68	1.67	7.81
الشارقة	4.99	1.78	8.89
الدوحة	4.99	1.76	8.78
الرياض	4.75	1.74	8.26
دبي	4.99	1.77	8.83
مسقط	5.12	1.75	8.98
طهران	4.93	2.09	10.31
القاهرة	4.81	1.88	9.06
القدس	4.76	1.93	9.17
بغداد	4.77	1.98	9.44
أنقرة	5.26	1.8	9.47
إسطنبول	5.26	1.8	9.47
دلهي	6.83	2.10	14.32

كما هو مبين في الشكل (2)، سيغطي مجال رؤية مرصد تمبو الشرق الأوسط من جيبوتي (جنوبًا) إلى البحر الأسود (شمالًا) ومن غرب الهند (شرقًا) إلى كرواتيا (غربًا). وستدخل مجال الرؤية هذا مع مرصد «سينتل-4» التابع لوكالة الفضاء الأوروبية (ESA) وأجهزة «جيمس» (GEMS) الكورية الجنوبية. وسيتم مسح مجال الرؤية الموضح في الشكل (2) كل ساعة، حيث يكون كل 1.74 كم × 4.52 كم بكسل عبارة عن طيف عنصر (2K) من 290-740 نانومترًا. وسيقوم مرصد تمبو الشرق الأوسط بمسح 1250 خطوة من الشرق إلى الغرب، حيث تكون كل خطوة 110 μrad . ومن الشمال إلى الجنوب سيقاس 2000 بكسل، كل خطوة 40.6 μrad . سينتج هذا 2.5×10^6 طيف لكل ساعة من الرصد. تم عرض مساحة العينة الأرضية (GSA) لمواقع مختلفة داخل مجال الرؤية في الجدول (3). سيتم قياس منتجات البيانات كل ساعة بالدقة المكانية الموضحة في الجدول (2).



الشكل 3. تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) من مرصد (TROPOMI) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمجال الرؤية لـ «تمبو» الشرق أوسط.



الشكل 6. خريطة تبين مساحة العينة الأرضية لمرصد تمبو الشرق الأوسط في مركز مجال الرؤية مقارنة بمرصدي (OMI) و (GOME-2). تمثل المساحة الحمراء الصغيرة (المربعات) تغطية تمبو الشرق الأوسط كل ساعة؛ فمساحة العينة الأرضية لمرصد تمبو الشرق الأوسط تساوي $1/300$ من GOME-2 ذات المساحة العينية (80×40) و $1/30$ من OMI ذات المساحة العينية (24×13) . وللتذكير فإن المرصدان (OMI و GOME-2) يرصدان مكة المكرمة مرة واحدة باليوم فقط. (Credit: Google Earth)

سيوفر مرصد مستقبلي مثل «تمبو» فوق منطقة الشرق الأوسط قياسات عالية الدقة للغلاف الجوي للأرض. وإضافة إلى ذلك، سيقدم مساهمة عربية كبيرة (جنباً إلى جنب مع «تمبو» (الولايات المتحدة) و«سينتل-4» لوكالة الفضاء الأوروبية و«جيمس» لكوريا الجنوبية) لفهم الدورة اليومية للانبعاثات والكيمياء الضوئية والنقل الديناميكي المقترن بجودة الهواء وتغير المناخ. وهذا سيتيح للباحثين العرب أن يكونوا جزءاً من الكوكبة العالمية لمراقبة التلوث. وسيتم إنشاء بنية تحتية علمية تتكون من تدريب الطلاب وعلماء البحوث والفنيين في الولايات المتحدة خلال بناء المرصد المقترح وبعد وضعه في المدار. وسيعمل تمبو الشرق أوسطي على سد الفجوة بين مرصدي «سينتل-4» و«جيمس»، ويوفر فرصة رائعة للتحقق من صحة القياسات من المرصد الثلاثة. ويمكن أن يتم بناء وإطلاق تمبو فوق منطقة الشرق الأوسط بمجرد أن تتبنى دولة أو عدة دول عربية المشروع من دون أي تعديلات على البصريات أو التصميم العام للتلسكوب. وهناك عدة فرص لاستضافة المرصد على شركات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في الشرق الأوسط، مثل Yahsat و ArabSat و NileSat. ويعتبر تمبو الشرق أوسطي فرصة ذهبية للمشاركة في برنامج فضاء، ويمكن الاستفادة من الخبرات المختلفة والتعاون مع المؤسسات العالمية الأخرى وبناء برامج دراسات عليا والمشاركة العربية في الأبحاث العلمية.

Funding Sources

The work is supported by NASA grant: NNN12ZDA006O-EVI1: Earth Venture Instrument – 1 / NNL13AA09C

1. Chance KV, Suleiman RM, Flittner DE, Al-Saadi J, Janz SJ. Tropospheric Emissions: Monitoring of pollution (TEMPO). Proceedings of the SPIE. 2013;8866:88660D.
2. Zoogman P, Liu X, Suleiman RM, Pennington WF, Flittner DE, Al-Saadi JA, et al. Tropospheric Emissions: Monitoring of pollution (TEMPO). Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2017;186:17.
3. Fishman J, Bowman KW, Burrows JP, Richter A, Chance KV, Edwards DP, et al. Remote sensing of tropospheric pollution from space. Bulletin of the American Meteorological Society. 2008;89:805.
4. Chance KV, Burrows JP, Schneider W. Retrieval and molecule sensitivity studies for the Global Ozone Monitoring Experiment and the SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY. Proc. S.P.I.E., Remote Sensing of Atmospheric Chemistry. 1991;1491:151–165.
5. Chance K. Spectroscopic measurements of tropospheric composition from satellite measurements in the ultraviolet and visible: Steps toward continuous pollution monitoring from space. In: Perrin A, Ben Sari-Zizi N, Demaison J, editors. Remote sensing of the atmosphere for environmental security. NATO Security through Science Series. Springer; 2006. p. 1–25, ISBN: 1-4020-5089-5.
6. Sauvage B, Martin RV, van Donkelaar A, Liu X, Chance K, Jaeglé L, et al. Remote sensed and in situ constraints on processes affecting tropical tropospheric ozone. Atmospheric Chemistry and Physics. 2007;7:815–838.
7. Liu X, Chance K, Sioris CE, Spurr RJD, Kurosu TP, Martin RV, et al. Ozone profile and tropospheric ozone retrievals from Global Ozone Monitoring Experiment: Algorithm description and validation. Journal of Geophysical Research. 2005;110:D20307. doi:10.1029/2005JD006240.
8. Liu X, Bhartia PK, Chance K, Spurr RJD, Kurosu TP. Ozone profile retrievals from the Ozone Monitoring Instrument. Atmospheric Chemistry and Physics. 2010;10:2521–2537.
9. Martin RV, Chance K, Jacob DJ, Kurosu TP, Spurr RJD, Bucsela E, et al. An improved retrieval of tropospheric nitrogen dioxide from GOME. Journal of Geophysical Research. 2002;107:4437. doi:10.1029/2001JD0010127.
10. Lamsal LN, Martin RV, van Donkelaar A, Celarier EA, Bucsela EJ, Boersma KF, et al. Indirect validation of tropospheric nitrogen dioxide retrieved from the OMI satellite instrument: Insight into the seasonal variation of nitrogen oxides at northern midlatitudes. Journal of Geophysical Research. 2010;115:D05302. doi:10.1029/2009JD013351.
11. Krotkov NA, McClure B, Dickerson RR, Carn SA, Li C, Bhartia PK, et al. Validation of SO₂ retrievals from the Ozone Monitoring Instrument over NE China. Journal of Geophysical Research. 2008;113:D16S40. doi:10.1029/2007JD008818.
12. Lee C, Martin RV, van Donkelaar A, O'Byrne G, Krotkov N, Richter A, et al. Retrieval of vertical columns of sulfur dioxide from SCIAMACHY and OMI: Air mass factor algorithm development and validation. Journal of Geophysical Research. 2009;114:D22303. doi:10.1029/2009JD012123.

13. Yang K, Liu X, Bhartia PK, Krotkov NA, Carn SA, Hughes EJ, et al. Direct retrieval of sulfur dioxide amount and altitude from spaceborne hyperspectral UV measurements: Theory and application. *Journal of Geophysical Research*. 2010;115:D00L09, doi:10.1029/2010JD013982.
14. Bednarz F. European Space Agency Publication SP-1182. Noordwijk, The Netherlands: ESA, ESTEC; 1995.
15. Bhartia PK, Wellemeyer CG. OMI Algorithm Theoretical Basis Document (OMI Ozone Products), ATBD-OMI-02, Version 2.0, August 2002. <https://eosps.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/ATBD-OMI-02.pdf>
16. Chance KV, OMI Algorithm Theoretical Basis Document (OMI Trace Gas Algorithms), ATBD-OMI-02, Version 2.0, August 2002. <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/media/docs/ATBD-OMI-04.pdf>.
17. Duncan BN, Lamsal LN, Thompson AM, Yoshida Y, Lu Z, Streets DG, Hurwitz MM, Pickering KE. A space-based, high-resolution view of notable changes in urban NO_x pollution around the world (2005–2014). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2016;121:976–996. doi:10.1002/2015JD024121, <https://doi.org/10.1002/2015JD024121>.
18. Suleiman RM, K Chance and X Liu. A Geostationary air quality monitor for the Middle East, *Journal of Physics: Conference Series*. 2017;869:012085.
19. Kazadzis S, Bais A, Arola A, Krotkov N, Kouremeti N, Meleti C. Ozone Monitoring Instrument spectral UV irradiance products: comparison with ground based measurements at an urban environment *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 585–594, 2009.
20. Zoogman P, Jacob DJ, Chance K, Zhang L, Le Sager P, Fiore AM, Eldering A, Liu X, Natraje V, Kulawike SS. Ozone air quality measurement requirements for a geostationary satellite mission. *Atmos Environ* 2011;45:7143–50.
21. Kim S-W, Heckel A, McKeen SA, Frost GJ, Hsie E-Y, Trainer MK, Richter A, Burrows JP, Peckham SE, Grell GA. Satellite-observed U.S. power plant NO_x emission reductions and their impact on air quality. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 33, L22812, doi:10.1029/2006GL027749, 2006.
22. NASA/GSFC. Available at: https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/no2_index.html.

ورقة بحثية

رسالة في الميزان للأهوازي: تحقيق ودراسة لنص في علم الأثقال العربي من القرن الرابع الهجري

محمد أبطوي*

¹ معجم الدوحة التاريخي للغة العربية، المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات، الدوحة، قطر

mohamed.abattouy@dohainstitute.org *

المُلخَص

نخصّص هذه المقالة لنشر التحقيق النقدي لنص علمي ينتمي إلى التقليد العربي لعلم الأثقال الذي يمثّل الميكانيكا النظرية بمعناها القديم والوسيط. وهذا المُصنّف هو رسالة في الميزان لرياضي عربي معروف هو أبو الحسن محمد بن عبد الله بن منصور الأهوازي الذي عاش في النصف الأول من القرن الرابع الهجري/ القرن العاشر الميلادي. ألّف الأهوازي شرحًا للمقالة العاشرة لكتاب أصول الهندسة لأوقليدس، وتُنسب إليه أعمال فلكية عديدة يبدو أنها ضاعت أو لمّا يُعثر عليها بعد. ويُعدّ نشرنا لرسالته القصيرة في الميزان أوّل تحقيق لأحد تصانيفه العلمية. افتتحت المقالة بمقدمة عامة خُصص قسمها الأول لتحديد دلالة علم الأثقال العربي في تاريخ الميكانيكا، وظروف نشأته بوصفه الإطار العلمي والإبستمولوجي الذي تندرج فيه رسالة الأهوازي. ثم قمنا بتركيب المعلومات المتوفرة لدينا، والمستقاة من المؤلفات التاريخية الكلاسيكية العربية ومن تاريخ العلوم المعاصر، لبناء بيو-ببليوغرافيا كاملة لأبي الحسن محمد الأهوازي. وقدمنا - أخيرًا - نبذة مختصرة حول محتويات مقالة الأهوازي في الميزان مع وصف مخطوطتها الوحيدة. وتمّ تحقيق النصّ حسب ما هو مُتعارف عليه في نشرات النصوص العلمية التي تصلنا في نسخة فريدة.

الكلمات المفتاحية: الأهوازي، رسالة في الميزان، علم الأثقال، التقليد العلمي العربي، تاريخ العلوم.

Title

Treatise on the Balance by Al-Ahwāzī: Editing and analysing a text about the Arabic science of weights from the 4th-10th centuries

Mohammed Abattouy^{1*}

¹ Doha Historical Dictionary of Arabic/The Arab Centre for Research and Policy Studies, Doha, Qatar.

Abstract

We devote this article to publish the critical edition of a scientific text belonging to the Arabic tradition of the science of weights, which represents the medieval theoretical mechanics. This text is *Risāla fī al-mīzān* (Treatise on the balance) by the well-known Arab mathematician Abū al-Ḥasan Muḥammad b. ‘Abdallāh b. Maṣṣūr al-Ahwāzī, from the first half of the 4th century H/10th century CE. Al-Ahwāzī is the author of a not-yet published commentary on the tenth book of Euclid’s *Elements of Geometry*, and several astronomical works are attributed to him, which were lost or not found yet. Our publication of his short treatise on the balance is the first edition of one of his scientific works. The article begins by a short general introduction, followed by a section on the genesis of the Arabic science of weights, its theoretical and historical context, and its historical significance. Then we produce the complete bio-bibliography of Al-Ahwāzī. The rest of the article is dedicated to characterize in brief the contents of the treatise on the balance, which is critically edited in full in a final section, according to the usual criteria for editing scientific texts that were transmitted in a unicum copy.

Keywords

Al-Ahwāzī, Treatise on the balance, *Risāla fī al-mīzān*, science of weights, the Arabic scientific tradition, history of science.

Received 04 February 2021; accepted 22 April 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Abattouy M. Treatise on the Balance by Al-Ahwāzī: Editing and analysing a text about the Arabic science of weights from the 4th-10th centuries. *Arabian Journal of Scientific Research* 2021;2.8. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.8>

الميزان، نقدم تحقيقاً نقدياً للرسالة، وبذلك نكون قد نشرنا أوّل نصّ علمي لهذا العالم الذي بقي في الظلّ إلى اليوم، بينما حاز في زمنه إعجاب أبي الريحان البيروني (ت. 440هـ/1048م) الذي لم يتوانَ عن ذكره والإشادة به في مواقع مختلفة من مؤلفاته¹.

2- توصيف عام لعلم الأثقال العربي

ندرس في هذا الباب - وهو الأوّل - دلالة التمييز داخل تقليد الميكانيكا العربية بين حقلين علميين لا يتداخلان رغم تقاربهما، وهما علما الأثقال والحيل، لكي نحيط بالإطار النظري والتاريخي الذي يندرج ضمنه نشرنا لرسالة الأهوازي في الميزان؛ ونرصد هنا ما تركته نشأة علم الأثقال من أثر في تاريخ الميكانيكا. وتمثّل أطروحة التمييز بين علمي الأثقال والحيل كشفًا مهمًا لن تتجلى آثاره كاملة إلا بعد نشر المتن الكامل لنصوص علم الأثقال العربي، وهذا مشروع أكاديمي نعمل على تنفيذه منذ عقدين².

نعني بالميكانيكا العربية مجموع المؤلفات المكتوبة بالعربية التي وصلت إلينا حول الأثقال والحيل، والتي تنتمي إلى الإنتاج العلمي في العالم العربي-الإسلامي ما بين القرنين الثالث والثالث عشر للهجرة (من التاسع إلى التاسع عشر للميلاد)³. وتختلف دلالة لفظ «الميكانيكا» في العصر القديم عن الدلالة المرتبطة بها في العلم الحديث، ففي الفيزياء الحديثة تعني الميكانيكا علم الحركة، أي المبحث الفيزيائي الذي يدرس ظواهر الحركة وصفيًا (kinematics) وسببيًا (dynamics). أمّا في التقليد الإغريقي فكانت الميكانيكا بالأساس مجالًا لوصف ودراسة الآلات ومختلف أنواع الآواني والحركات. وقد وفّرت دراسة الآلات للميكانيكا القديمة موضوعًا موحّدًا، ولكن هذه الدلالة تفرّعت في العلم العربي إلى عدة فروع، وخصوصًا علم الأثقال وعلم الحيل. وعلى العموم، شكّلت دراسة الآلات تحت مسمى الحيل استمرارًا للميكانيكا القديمة، بينما انكبّ علم الأثقال على دراسة حركات الأجسام الثقيلة رياضيًا وفيزيائيًا، وركّز على تحليل سلوكها في الموازين، متخذًا من الميزان نموذجًا عقليًا لدراسة ظواهر الحركة والتوازن، وخصوصًا الميزان القبّاني ذا الرّمانة المتحركة على ذراعي العمود المختلفين في الطول في بعدهما عن نقطة التعليق.

لم يشتهر من التراث الميكانيكي العربي إلا علم الحيل، وذلك بسبب بقاء معظم نصوص علم الأثقال العربي في عداد المخطوطات، وانحسار المعرفة

يعدّ أبو الحسن محمد الأهوازي عالمًا رياضيًا وفلكيًا من القرن الرابع الهجري/العاشر الميلادي، يتردّد ذكره في تاريخ العلوم المعاصر، وتتداول المصادر العربية الكلاسيكية أخباره، مع أنّ أعماله العلمية التي وصلتنا لم يُنشر منها نصّ واحد حتّى الآن. ونجد له ذِكرًا مُعتبرًا في مُصنّفات العالم الكبير محمد بن أحمد البيروني الذي أعرب عن تقدير عميق للأهوازي.

يدلّ تراث الأهوازي العلمي الذي وصلنا - والذي سنصفه باختصار في فقرة لاحقة - على تمكّنه من أصول الصّناعة في الرياضيات والفلك. كما أنّه ترك رسالة مختصرة في الميزان خصّصها لعرض الخصائص الأساسية للموازين وقوانينها، وكيفية العمل بها، وإصلاح الخلل فيها إذا ضاعت رُمانتها، أي الثقل الكروي من الحديد على شكل الرّمانة الذي يُحرّك على القسم الأطول من عمود الميزان القبّاني ليعادل الموزون المعلق من الجهة الأخرى لعلاقة الميزان. أولى الأهوازي في رسالته اهتمامًا خاصًا للميزان القرسطون المسمّى بالقبّان، وهو ميزان ذو ذراعين غير متساويين تصعب دراسته وتحديد خصائصه الفيزيائية والرياضية، ولذلك شكّل تحديًا لعلم الأثقال العربي منذ أن خصّص له ثابت بن قُرة (ت. 288هـ/901م) كتابه التأسيسي الشهير كتاب في القرسطون.

أرسى كتاب ابن قُرة الحرّاني أسس تقليد علمي كامل في الميكانيكا، يقوم على تركيز النظر في دراسة الآلات على الميزان القرسطون ومسائله الرياضية والفيزيائية، باعتبارها تمثل نموذجًا لتحليل أمور الحركة والتوازن، وصارت دراسته حول القرسطون مثالًا يحتذى به نظراؤه من علماء العربية في القرون اللاحقة. وهذا التقليد في البحث هو ما سمّاه الفارابي تقليد علم الأثقال، وميّزه عن علم الحيل باعتبار هذا الأخير ميكانيكا تطبيقية تكمل ما بدأه الإغريق في دراسة الآلات. وقد نشأ علم الأثقال العربي في نهاية القرن الثالث الهجري/العاشر الميلادي، واستمر نشطًا ومنتجًا حتى القرن الثالث عشر/التاسع عشر، وامتد تأثيره ليشكّل الأساس الذي قام عليه علم الأثقال اللاتيني في القرن الثاني عشر الميلادي في أوروبا الغربية.

سنخصص فقرة من هذه المقالة لعرض مختصر للشروط التاريخية والنظرية لنشأة علم الأثقال العربي، وسنبين كيف يمثل هذا العلم الإطار العام الذي تندرج فيه رسالة الأهوازي في الميزان. كما سنعيد تركيب المعلومات المتوفرة لوصف حياة الأهوازي ودمجها في أعماله ومحتويات مقالته في الميزان. وبعد وصف المخطوطة الوحيدة التي حفظت مضامين رسالته في

1 خصّصنا للأهوازي مدخلًا ضمن موسوعة تاريخية؛ راجع محمد أبطوي، «الأهوازي، أبو الحسن محمد بن عبد الله (حوالي 330هـ/941م)»، موسوعة أعلام العلماء والأدباء العرب والمسلمين (تونس: المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم/بيروت: دار الجيل، 2004/1425)، الجزء الثاني، صص 540-542.

2 انظر نشرتنا النقدية لنصوص الحيل والأثقال للإسفراري (ت. نحو 500 هـ) في: محمد أبطوي، متن المظفر الإسفراري في علمي الأثقال والحيل: تحقيق نقدي ودراسة تاريخية لنصوص جديدة في تقليد الميكانيكا العربية (لندن: مؤسسة الفرقان للتراث الإسلامي، 2013)، 520 صفحة؛ و:

M. Abattouy, *The Corpus of Al-Isfīzārī in the Sciences of Weights and Mechanical Devices. New Arabic Texts in Theoretical and Practical Mechanics from the Early XIIth Century. English Translation, Partial Analysis and Historical Context* (London: Al-Furqān Islamic Heritage Foundation, 2015, pp. 419).

3 درسنا هذا المتن في أعمال سابقة، وبيّنا دلالة التمييز بين الحيل والأثقال. انظر:

M. Abattouy, "Greek Mechanics in Arabic Context: Thābit ibn Qurra, al-Isfīzārī and the Arabic Traditions of Aristotelian and Euclidean Mechanics," *Science in Context* (Cambridge University Press) vol. 14, 2001, pp. 179-247; M. Abattouy, "The Aristotelian Foundations of Arabic Mechanics: From the Ninth to the Twelfth Century," *The Dynamics of Aristotelian Natural Philosophy from Antiquity to the Seventeenth Century*, edited by C. Leijenhorst, C. Lüthy and H. Thijssen, Leiden: Brill, 2002, pp. 109-140;

محمد أبطوي، «علما الأثقال والحيل في الغرب الإسلامي الوسيط: دراسة في أحد جوانب التقليد العربي في الميكانيكا النظرية والتطبيقية»، مجلة هسبريس تمودا (الرباط)، مجلد 52، 2017، صص 87-116 (راجع المقالة على الأنترنت في: <http://www.hesperis-tamuda.com>).

M. Abattouy, "The Corpus of the Arabic Science of Weights (9th-19th Centuries): Codicology, Textual Tradition and Theoretical Scope," in: *Research Articles and Studies in Honour of Iraq Afshar*, edited by Ibrahim Chabbouh and François Déroche (London: Al-Furqan Foundation, 2018), pp. 229-278.

بدالاتها الحقيقية. وقد رأى بعض الدارسين أنَّ علم الجِيل يرادف الميكانيكا بمعناها الحديث، أي علم الحركة. فعُرِّبَت الميكانيكا أحياناً بوصفها علماً للحركة بـ«الجِيلِيَّات» في الكُرَاسَات الدراسية العربية، وهي ترجمة متأثرة بالكلمة الإنجليزية (mechanics)، ومقتبسة من الفرع المعروف من التراث الميكانيكي العربي، أي علم الجِيل. ويجدر التنبيه على صعوبة الاتصال بين علم الجِيل والفيزياء الحديثة بسبب البون النظري والمفاهيمي الشاسع الذي يفصل بينهما، فهما ينتميان إلى منظومتين علميتين وأنطولوجيتين مختلفتين تماماً⁴.

لا يكفي نشر بعض النصوص المتفرقة من المتن الميكانيكي العربي لإبراز الدلالة التاريخية القوية للميكانيكا العربية في إطار التاريخ العام للفيزياء، بل إنَّ السبيل إلى ذلك هو إعادة بناء هذا المتن وإخراجه إلى الوجود كاملاً وبصفة موحدة؛ فمن شأن هذا الإخراج أن يثبت أنَّ النصوص العربية في الميكانيكا النظرية على وجه الخصوص تُشكِّل جزءاً لا يتجزأ من تاريخ الفيزياء الطويل والممتد من المرحلة القديمة إلى قلب العلم الحديث. وتتميز الميكانيكا بكونها علماً فيزيائياً له تاريخٌ مُعرق في القدم اخترق كلَّ التقاليد العلمية حتى القرن الثامن عشر، عندما دُمج في البناء العام للفيزياء الكلاسيكية. ويوضِّح تاريخ الميكانيكا مواقع الاختلاف والتلاقي بين التقاليد العلمية التي شكَّلت قاعده هذا العلم، فقد انبثت الميكانيكا العربية على التقليد الإغريقي ودمجته في بنائها، وبدورها أسَّست الميكانيكا الغربية في مرحلة العصور الوسطى على التقليد العربي واستوعبته. ولكنَّ الفيزياء الحديثة في أعمال جاليليو ونيوتن تجاوزت هذا التقليد المُشترك، ودفعت الترييض إلى أبعد مدى، ودرست الحركة بعمومية، خارج الإطار الأرسطي من جهة، وخارج الإطار الميكانيكي من جهة ثانية.

يتألف التقليد العلمي المكتوب بالعربية في ميدان الأثقال والموازن من عشرات الرسائل التي تغطي كلَّ مراحل الإنتاج العلمي في البلاد الإسلامية، وقد امتدَّ مداه الزمني حتى القرن التاسع عشر. وتتمحور هذه النصوص حول المسائل النظرية والعملية للأثقال والموازن، وتطرح إشكالاتها الرياضية والفيزيائية. وقد ساهم في تأليف هذه الرسائل عدد غير قليل من العلماء من رياضيين وفيزيائيين ومهندسين، أمثال ثابت بن قُرة وقُسطا بن لوقا

والأهوازي ومحمد الرازي والقُوهي وابن الهيثم والبيروني وإليبا المَطران وعمر الخيام والمُظفَّر الإسفَازي وعبد الرحمن الخازني وابن يعيش الأموي وابن البنا المراكشي ومحمد بن أبي الفتح الصوفي ويحيى الخرجي وابن السراج والبرلسي القَبَّاني ومحمد الغمري وابن الملك الدمشقي وحسن الجَبَرتي والحسين العطار، وغيرهم⁵.

كما يتضمن هذا التراث مجموعة من الأصول الإغريقية في ترجمات عربية، منها كتاب **المسائل الجِيلِيَّة**، ومقالة **في الميزان** المنسوبان إلى أرسطو وأوقليدس على التوالي، ورسائل قصيرة حول الثَّقَل والخِفَّة نُسبت إلى أوقليدس وأرخميدس ومانالوس، إضافة إلى المسائل المتعلقة بمراكز الأثقال والموازن في كتابي: **رفع الأشياء الثقيلة** لإيْرُن الإسكندراني (هيرون السكندري)، و**مدخل إلى علم الجِيل** لبُئْس الإسكندراني⁶.

وقد مكَّنتنا دراستنا للنصوص العربية المكوَّنة لهذا المتن من تحليل دلالاته التاريخية كتقليد علمي مُوحَّد، و«مَوْقَعَتِهِ» في تاريخ الأفكار الفيزيائية. وبتبيّن لنا أنَّ هذه الكمية المدهشة من النصوص تدلُّ على نشأة علم جديد، هو علم الأثقال. يؤكِّد تاريخ العلوم التقليدي - منذ بير دوهيم إلى إرنست مودي ومارشال كلاي - المنشأ الأوربي لعلم الأثقال في صيغته اللاتينية، كما عبَّرت عنه تسمية *scientia de ponderibus*، وأنَّه رأى النور في القرن الثالث عشر في أعمال مدرسة جوردانوس (Jordanus). بيّد أنَّ اكتشاف المتن العربي المخصَّص لإشكاليات الثَّقَل والوزن أثبت أنَّه نشأ في القرن الثالث الهجري/التاسع الميلادي في مؤلفات ثابت بن قُرة، وظهر باللغة العربية في المشرق الإسلامي، قبل أن تنتقل جذوته إلى أوروبا في سياق ترجمة المؤلفات العلمية العربية إلى اللاتينية⁷.

شكَّل علم الأثقال العربي نقطة تحوُّل في تاريخ الميكانيكا، ويبدو ذلك بوضوح من خلال مقارنة سريعة بين تقليدي الميكانيكا في التراثين العلميين الإغريقي والعربي، إذ تبدو الميكانيكا الإغريقية في الأعمال المنسوبة إلى أرسطو وإيْرُن وبُئْس مجالاً لوصف الآلات ووظائفها، وتأخذ صورة مبحث يتناول قضايا الميكانيكا النظرية والعملية بشيء من التنوُّع والوفرة، ولكنَّ دون تنسيقٍ مفهوميٍّ أو انتظام نظريٍّ مُحكم. ولا ينطبق هذا الحكم -

4 انظر: محمد أبطوي، «من علم الجِيل إلى علم الأثقال: ولادة ثانية للميكانيكا» **مفهوم التقدم في العلم** (الرباط: منشورات كلية الآداب، 2004)، صص 89-109؛ ص. 90 والهامش 2. أعيد نشر المقالة تحت عنوان «التقدُّم في العلم كتحوُّل في المعرفة العلمية: نشأة علم الأثقال في التقليد العلمي العربي» في: **انتصاراً لقيم الفلسفة في الجامعة المغربية. شهادات وأبحاث مهداة للأستاذ سالم يفوت** (الرباط: كلية الآداب، 2013)، صص 181-206.

5 انظر وصفاً مُفضَّلاً لمتن علم الأثقال العربي في:

M. Abattouy, "The Arabic Science of Weights ('ilm al-athqāl): Textual, Tradition and Significance in the History of Mechanics," *A Shared Legacy, Islamic Science East and West*, edited by E. Calvo et al. (Barcelona: Universitat de Barcelona, 2008), pp. 83-114; pp. 92-99; M. Abattouy, "The Corpus of Mechanics of Al-Isfizārī: Its Structure and Signification in the Context of Arabic Mechanics." In: *Micrologus - Nature Science and Medieval Societies* (Florence), N° 24, 2016, pp. 121-172.

6 حول الإطار التاريخي والثقافي للترجمة العربية للمؤلفات العلمية الإغريقية باعتبارها إغناءً وتطويراً للمعرفة العلمية بين تقليدين علميين متعاقبين، راجع: *Science in Context* (Cambridge University Press), vol. 14 (2001), N° 1-2, 331 pp., double special issue edited by M. Abattouy, J. Renn and P. Weinig, on *Intercultural Transmission of Scientific Knowledge in the Middle Ages: Graeco-Arabic-Latin*.

ويمكن العودة أيضاً إلى المقالين التاليين حول الموضوع نفسه:

M. Abattouy: "Genèse et développement de la tradition scientifique en Islam (9^{ème}-10^{ème} siècles): Leçons du passé et perspectives d'avenir," *La science dans les sociétés islamiques: Approches historiques et perspectives d'avenir*, edited by M. Abattouy (Casablanca: Fondation du Roi Abdulaziz, 2007), pp. 43-82; M. Abattouy, "The Arabic-Latin Intercultural Transmission of Scientific Knowledge in Pre-Modern Europe: Historical Context and Case Studies," *The Role of the Arab-Islamic World in the Rise of the West: Implications for Contemporary Trans-Cultural Relations*, edited by Nayef R.F. Al-Rodhan (London: Palgrave Macmillan, 2012), pp. 167-219.

7 أثبتنا أطروحة نشأة علم الأثقال العربي وتأثيره في العلم اللاتيني في عدة دراسات، نذكر منها:

M. Abattouy, "The Arabic Science of weights: A Report on an Ongoing Research Project." *BRIIFS. The Bulletin of the Royal Institute for Inter-Faith Studies* (Amman), vol. 4 (2002), n° 1: pp. 109-30; M. Abattouy, "The Arabic Tradition of 'Ilm al-athqāl (Science of Weights): Texts and Context," *Etudes d'Histoire des Sciences Arabes*, Textes réunis et présentés par M. Abattouy (Casablanca: Fondation du Roi Abdulaziz, 2007), pp. 43-82; pp. 57-69.

بالتأكيد - على مؤلفات أرخميدس الميكانيكية التي تمتاز بدرجة عالية من التنسيق والتركيز. ولكن الميكانيكا الأرخميدية - وخصوصاً في صيغتها الصارمة التي يعرضها كتاب **استواء السائط** (Plane Equilibrium) - لم تُترجم إلى العربية، ولم تُعرف بالتالي في المجال الثقافي الإسلامي الوسيط. ويعود ذلك إلى أنها لم تُداول في العصر القديم المتأخر بسبب تجريدتها العالية وبُعدها عن اهتمامات الصُّنَّاع والحرفيين. وهكذا هَمَّش الانتقاء التاريخي المنهجية الأرخميدية، ووفّر فرصة استثنائية لانتقال النصوص المنسوبة إلى أرسطو وإيرن وبُئس التي تتمحور حول وصف الآلات ودراسة وظائفها، فاستأثرت باهتمام الميكانيكيين والصُّنَّاع في نهاية المرحلة القديمة، وانتقلت مخطوطاتها أثناء نشأة تقليد العلم العربي.

ولوضع اليد على التباين الموجود بين التقليدين الميكانيكيين العربي والإغريقي، يكفي أن نلقي نظرة على لائحة النصوص المكوّنة لكل منهما ومحتويات هذه النصوص، فنستنتج أنّ محتويات نصوص مثل **المسائل الجيئية** المنسوب لأرسطو، و**جِئَل الآلات الروحانية** و**مجانيق الماء** لفيلون البيزنطي، و**رفع الأشياء الثقيلة والآلات الروحانية**⁸ لإيرن، و**مدخل إلى علم الجِئَل لبُئس**، وبعض المؤلفات الميكانيكية المتفرقة الأخرى تقدم جرّداً عاماً ووصفاً موسّعاً لوظائف عدد من الآلات دون أن تقودها في ذلك فلسفة طبيعية محدّدة على نحو مُنسّق. صحيح أنّها تسترشد بمبادئ الفيزياء الأرسطية (مثل الإطار الكوسمولوجي، وازدواجية الحركة إلى الأسفل وإلى الأعلى، وأولوية الحركة الدائرية)، غير أنّ النصوص الميكانيكية المذكورة لا تستغل هذه المبادئ بطريقة منهجية، ولا تتعامل معها كمبادئ عامة، لأنّ اهتمامها ينصبّ أساساً على عرض أكثر ما يمكن من الملاحظات العملية حول الآلات. وحتى عندما تتجاوز هذا المستوى الوصفي، فإنّ محتواها النظري لا يقيم علاقة قوية بين الفلسفة الطبيعية والميكانيكا في وصف الآلات ووظائفها. ومن ناحية ثانية، تتضمّن هذه الكتب بعض مبادئ علم الأثقال، وخاصّة **رفع الأشياء الثقيلة** لإيرن، و**مدخل إلى علم الجِئَل لبُئس**، ولكن هذه المبادئ تبقى هامشية، ولا يتم تفعيلها لتؤسّس فرعاً علمياً مستقلاً. وينطبق هذا التوصيف السريع لمجال علم الآلات على المؤلفات العربية الأساسية التي صنّفت في هذا الفن، وعلى رأسها **كتاب الجِئَل** لبني موسى، و**الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الجِئَل**⁹ الذي انتهى أبو العزّ بن إسماعيل بن الرّزّاز الجَزْري من تحريره في 1206م¹⁰.

يقدم التقليد الميكانيكي الإغريقي القديم نفسه كمنظومة من المؤلفات المتفرقة التي تتوخى توصيف الآلات وتحديد وظائفها في المقام الأول، ولا

تستند إلى مبادئ فيزيائية إلّا بصفة هشة. كما أنّ رواد هذا التقليد لم يسجّلوا بوضوح التناقض القائم بين اشتغال الآلات الميكانيكية ومبادئ الفلسفة الطبيعية الأرسطية. فعلى سبيل المثال، لا يتماشى اشتغال الميزان مع النظرية التي تميّز بصرامة بين الحركتين الطبيعييتين المتجهتين إلى الأسفل وإلى الأعلى. أمّا في علم الأثقال العربي فإننا نجد إشارات واضحة إلى مثل هذه المفارقات. وتشير الملاحظات ذات الصلة والمتناثرة في كتابات ثابت بن قُزّة والقُوهي وابن الهيثم والإسفراري والخازني إلى ملامح فلسفة طبيعية غير أرسطية تطورت في سياق البحث المُنظَّم حول ظواهر الأثقال والموازين¹¹. وبصفة موازية، غدّت النقاشات الميكانيكية تطور هذه الفيزياء غير الأرسطية لدى البيروني وأبو البركات البغدادي وابن باجة على قاعدة مطالب منبثقة من الفلسفة الطبيعية.

طوّر علماء التقليد الميكانيكي العربي ما ورثوه عن الإغريق من معارف في الميكانيكا، وسرّعوا ما شيدوا علم الأثقال وأقاموه على أساس الدراسة الفيزيائية والرياضية لخصائص الموازين، واستأثرت باهتمامهم إشكاليات الميزان القَبَّاني ذي الذراعين اللامتساويين¹² الذي حظي بنصيب وافر من الدراسة والبحث، كما يدلّ على ذلك العدد الكبير من الرسائل المخصصة له. وقد عبّر الفارابي عن الوضعية الإيبستيمولوجية الجديدة التي نشأت في ميدان الميكانيكا، فاعتبر علم الأثقال قاعدة نظرية للميكانيكا، وميّزه عن العلوم والصناعات العملية المنضوية تحت نطاق الجِئَل والآلات، ويعود إليه الفضل في ابتداء عبارة «علم الأثقال» وتعريفها بطريقة تشير إلى العلم الناشئ.

شيد أبو نصر الفارابي في كتابه **إحصاء العلوم** إحدى منظومات العلوم الأولى في الثقافة العربية الكلاسيكية، وقد فصل في منظومته هذه بين ستة علوم أساسية هي علوم اللسان (اللغة)، والمنطق، والتعاليم (الرياضيات)، والطبيعة، والعلم الإلهي أو الميتافيزيقا، والعلم المدني أي السياسة والفقه والكلام. أمّا أجزاء العلم الرياضي عنده فهي العدد والهندسة وعلم المناظر وعلم النجوم التعليمي¹³ وعلم الموسيقى وعلم الأثقال وعلم الجِئَل. ويشكّل العلمان الأخيران ما اصطلح عليه بالميكانيكا عند الإغريق. وقد حدّد الفارابي موضوعهما قائلاً: «وأما علم الأثقال فإنّه يشتمل من أمور الأثقال على شيئين: إمّا على النّظر في الأثقال من حيث تُقَدَّر أو يُقَدَّر بها، وهو الفحص عن أمور القول في الموازين، وإمّا على النّظر في الأثقال التي تُحرّك أو يُحرّك بها، وهو الفحص عن أصول الآلات التي تُرفع بها الأشياء الثّقيلة، وتُنقل عليها من مكان إلى مكان. وأما علم الجِئَل فإنّه علم وجه التّدبير في مطابقة جميع ما

8 لم يُترجم كتاب الآلات الروحانية (Pneumatics) لإيرن إلى العربية، حسب معلوماتنا الحالية.

9 يحمل كتاب الجَزْري في مخطوطة Graves 27 المحفوظ في مكتبة بودليانا بأكسفورد عنوان: **كتاب في معرفة الجِئَل الهندسية**. انظر:

Ahmad Y. Al-Hasan, "Al-Jazari and the History of the Water Clock," online at: <http://www.history-science-technology.com/articles/articles%206.html> (accessed online 30 January 2021).

10 توجد جميع الإحالات إلى نصوص الميكانيكا الوسيطة والدراسات التاريخية المُنجزة حولها في: محمد أبطوي، **تاريخ العلوم العربية الكلاسيكية: بيبليوغرافيا نقدية مختارة** (الدار البيضاء: مؤسسة الملك عبد العزيز، 2007)، صص 129-149. شوهد على الإنترنت في 30 يناير 2021 في: <https://archive.org/details/Arabscibiblio/page/n9/mode/2up>.

11 كمثال على توجّه هذا التيار، انظر تحليل القُوهي لإحدى مسائل الحركة بمنهجية غير أرسطية في:

Roshdi Rashed, "Al-Qūhī vs. Aristotle: On Motion," *Arabic Sciences and Philosophy* (Cambridge University Press), vol. 9, 1999: pp. 7-24.

12 استعملت الأدبيات الميكانيكية العربية ثلاث تسميات هي «القَرَسُطُون» و«القَلَّان» و«القَبَّان» للدلالة على الميزان القَبَّاني ذي الأذرع اللامتساوية، ويمثل كلّ منها مرحلة تاريخية. للمزيد حول هذا الموضوع راجع:

M. Abattouy, *The Arabic Tradition of Mechanics: General Survey and a First Account on the Arabic Works on the Balance* (Berlin: Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint n° 76, 1997, 61 pp.), esp. pp. 35-38; M. Abattouy, «Sur la tradition arabe de la balance: Thabit ibn Qurra et al-Khazini», *Quelques Aspects de l'Evolution des Idées Scientifiques : Antiquité et Moyen Age* (Rabat: Publications de la Faculté des Lettres, 1997), pp. 49-91; pp. 49-57.

13 ينطوي تمييز الفارابي بين علم النجوم التعليمي، أي علم الفلك الرياضي، وعلم أحكام النجوم، أي علم التنجيم، على الإعلان عن نشأة **علم الهيئة**: راجع الهامش 27.

يُبْرَهَن وجوده في التعليل التي سلف ذكرها بالقول والبرهان على الأجسام الطبيعية، وإيجادها ووضعها فيها بالفعل»¹⁴.

ينطوي التمييز بين علمي الأثقال والجِئِل على التفريق بين القسمين النظري والعملي للميكانيكا¹⁵، وقد عدّهما الفارابي علمين رياضيين بصفة كاملة. يتمحور ميدان الأثقال حول آلات الوزن ورفع الأثقال التي تُدرّس على قاعدة مقولتي القياس والحركة. أما علم الجِئِل فيتضمّن دراسة الآلات ومجموع الصنائع والحرف العملية، من البناء إلى صناعة الآلات الفلكية والموسيقية، وأدوات الحرب مثل القسي وأصناف الأسلحة. ويجمع بين هذه الصنائع أنها تُطبّق في هذه المجالات معارف رياضية من أعداد ومساحات وأحجام وأبعاد مكانية¹⁶.

يتطابق مفهوم علم الجِئِل بهذا المعنى مع الترجمة العربية الحرفية للكلمة الإغريقية ميكانيكوس (μηχανικός) وتعني الآلة والعلم الذي يدرسها، وترجمت الكلمة الإغريقية إلى العربية دون استثناء بمفردة حيلة، واستتبع ذلك أنها دلّت في المؤلفات العربية في الجِئِل على الآلة. غير أن دلالة الحيلة - وهي تتضمن معنى الآلة - أوسع منها، فهي تعني في «علم الجِئِل» وصف الآلات ووظائفها ضمن الحرف والصنائع، والفرع العلمي الذي يحتوي استخدام هذه الآلات ضمن تخصصات العلوم العملية¹⁷.

يستحق تمييز الفارابي بين الأثقال والجِئِل أن نوليّه كلّ الاهتمام الذي يستحقّه باعتباره إعلاناً رسمياً عن نشأة علم جديد في التقليد العلمي العربي يمثل تحوّلًا في تاريخ الميكانيكا. ويتأسس هذا الإعلان على قاعدة تراث غني من النصوص الميكانيكية التي وضعها جيل العلماء الذين سبقوا الفارابي ثمّ المعاصرين له أمثال محمد بن زكريا الرازي وثابت بن قزّة وقسطا بن لوقا والفوهي وغيرهم. وقد كان لأطروحة الفارابي صدّى كبير، وباتت المكانة الأساسية التي أفردها لعلم الأثقال بوصفه فرعًا رياضيًا مستقلًا ومتميزًا عن علم الجِئِل موقعًا مشتركًا في جميع نظريات العلم اللاحقة في الساحة الثقافية العربية.

أقام ابن سينا في كتابه رسالة في أقسام العلوم العقلية تمييزًا واضحًا بين علم الأثقال وعلم الجِئِل، واعتبر الفنون الميكانيكية فروعًا للهندسة، وحصر هذه الفنون في علم الجِئِل المتحركة¹⁸ وجزّ الأثقال، وعلم الأوزان والموازن، وعلم الآلات الجزئية¹⁹. وتبنّى الغزالي هذه الأطروحة في كتابه

مقاصد الفلاسفة، وتردّد صداها لدى الإسفرازي والغازني، وفي تنمة صوّان الحكمة للبيهقي، وفي رسالتين في تصنيف العلوم أُلّفَتا في القرن الثالث عشر الميلادي، أولاهما في أقاصي مشرق العالم الإسلامي على يد نصير الدين الطوسي²⁰، والثانية في مغربه للرياضي المغربي ابن رشيق²¹. كما نعثر عليها أيضًا في أندلس القرن الحادي عشر، في بداية كتاب الاستكمال للرياضي السَّرُطُسيّ المؤتمن بن هود، ولدى الكاتب المصري ابن الأَکفاني مؤلف إرشاد القاصد (القرن الرابع عشر الميلادي)، ولدى تقي الدين بن معروف مؤلف كتاب الطرق السنيّة في الآلات الروحانية الذي عاش في الشام والقسطنطينية في أواخر القرن السادس عشر، وحتى في كشاف اصطلاحات الفنون الذي صنّفه التّهانوي في الهند في القرن الثامن عشر²².

كان للدور الاقتصادي المتنامي الذي اضطلع به الوزن والميزان في البلاد الإسلامية أثر فعّال ومُحرّك في توفير شروط انطلاق علم الأثقال؛ ففي مجال شاسع ومترامي الأطراف يمتدّ من جنوب أوروبا إلى شرق آسيا، ويضمّ بلدانًا متعددة الثقافات ومتنوعة اللغات، تتبادل فيما بينها المنتوجات في حركة تجارية نشطة - ولكن دون نظام مُوحّد للمقاييس (مثل النظام المئري الحديث) - كان من الطبيعي أن تبرز الحاجة الملحة إلى موازين دقيقة تقيس كميات البضائع، وتُدقّق نظام الصّرف بين العُملة، وتحدّد أثمان المعادن النفيسة. ولهذا انكبّ العلماء على تأليف عدد كبير من الرسائل لوصف الموازين وكيفية صنعها وتركيبها، وأرفقوها بدراسات مستفيضة حول المبادئ الرياضية والفيزيائية المتحكّمة في عملياتها. وكان من أهداف هذه المؤلفات أيضًا أن توجه عمل الصّناع والحرفيين وتُرشد موظفي الجسبة، تلك المؤسسة الاجتماعية التي استحدثتها الحضارة الإسلامية لمراقبة الأسواق من أجل إحقاق العدل في الموازين والأكبال. واحتلّ كتاب ميزان الحكمة للغزالي (انتهى من وضعه سنة 515هـ/1121م) قمة هذا التقليد العلمي، إذ عرض بتوسّع لا مثيل له كلّ ما يتعلّق بميزان جامع اعتبره صاحبه أداة علمية ممتازة في خدمة التجارة²³. وكان بمقدور هذا الميزان قياس الأوزان المطلقة والنوعية للجوامد والسوائل، وحساب صرف العملات، وحساب مساحة الأرض، وتحديد الزّمان²⁴.

14 أبو نصر الفارابي، إحصاء العلوم، تحقيق عثمان أمين (القاهرة، مطبعة الاعتماد، [1949])، صص 88-89.

15 على غرار التقسيم الذي طبّقه في العدد والهندسة والموسيقى حين ميّز فيها بين قسم نظري وقسم تطبيقي.

16 كما تدلّ على ذلك الفقرة التي خصّصها الفارابي للجِئِل: فمجموع الحرف والصنائع التي ذكرها هي مبادئ الصناعات المدنية والعملية التي تُستعمل في الأجسام والأشكال الأوضاع والترتيب والتقدير، مثل صنائع الأبنية والتجارة وغيرها: أبو نصر الفارابي، إحصاء العلوم، مرجع سبق ذكره، ص 90.

17 عن الحقل الدلالي لـ «حيلة» وتطابقها مع ميكانيكوس (μηχανή) الإغريقية، راجع:

M. Abattouy «Mechané vs. Hiyal: Essai d'analyse sémantique et conceptuelle», *Imagination and Sciences* (Rabat: Publications de la Faculté des Lettres, 2000), pp. 127-151. Republished in Berlin: Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 152, 2000.

18 أي دراسة الآلات المتحركة من تلقاء ذاتها دون محرك ظاهري والتي تُنعت بـ automata: راجع حول هذه النقطة:

M. Abattouy «Mechané vs. Hiyal: Essai d'analyse sémantique et conceptuelle», *ibid.*, pp. 139-140.

19 أما المُكوّنات الأخرى للهندسة فهي المساحة والمناظر والمرايا وآلات الماء. راجع:

Georges Anawati, «Les Divisions des sciences intellectuelles d'Avicenne.» *MIDEO: Mélanges de l'Institut Dominicain des Etudes Orientales* (Cairo), vol. 13, 1977: pp. 323-335; p. 330.

20 عباس سليمان، تصنيف العلوم بين نصير الدين الطوسي وناصر الدين البيضاوي (بيروت: دار النهضة العربية، 1996).

21 حول أبو بكر الحسين، ابن رشيق (ت. 691هـ/1292م) مؤلف رسالة في تصنيف العلوم الرياضية، انظر: محمد أبطوي، «علماء الأثقال والجِئِل في الغرب الإسلامي الوسيط»، مرجع سبق ذكره، ص. 99.

22 انظر الإحالات إلى هذه المصادر في:

M. Abattouy, "The Arabic Science of Weights ('ilm al-athqāl)," *A Shared Legacy*, op. cit., pp. 102-104.

23 يُعتبر كتاب ميزان الحكمة للغزالي أحد أهم كتب الفيزياء في العصر الوسيط. انظر نبذة حول الغازني وأعماله في:

M. Abattouy, "Al-Khāzini," *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, edited by Thomas Hockey (Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag, 2007), pp. 629-630. Online at: http://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Khazini_BE.html (accessed 30 January 2021).

24 راجع حول البعد الاجتماعي والاقتصادي لمتن علم الأثقال العربي:

M. Abattouy, J. Renn, P. Weinig, "Transmission as Transformation: The Translation Movements in the Medieval East and West in a Comparative Perspective," *Science in Context*, vol. 14 (2001): pp. 4-5, 9-10.

تتجلى الأهمية التاريخية القصوى لتأسيس علم الأثقال في العلم العربي في إعادة ربط الصلة بين الفلسفة الطبيعية والميكانيكا، وفي إدماج علم الأثقال العربي واللاتيني في تقليد علمي موحد؛ ففي العلم الإغريقي كانت الميكانيكا منفصلة عن الفيزياء، وأخذت لدى أرخميدس شكل دراسة رياضية مجردة، أو انزوت ضمن الاهتمامات الهامشية للعلماء (كما هو الحال لدى إيرن وبس)، أو شكّلت مادة عمل للصناع والحرفيين. وفي مقابل ذلك، أقام علم الأثقال العربي علاقة وطيدة مع الفلسفة الطبيعية واستنار بمبادئها، وترجم التقدم الحاصل في ميدان الأفكار الفيزيائية بطريقة مبدعة. وطُبِّقَت في هذا السياق نظرية الحركة المُزدوجة - الطبيعية والقسرية - على حركات الموازين، واستتبعت ذلك نفي التضاد بينهما، واستُخدم المبدأ المُحدّد لوظيفة القوة في حركة النزول إلى أسفل كمبدأ ديناميكي²⁵.

ومن الفضائل النظرية التي تُحسب لأطروحة نشأة علم الأثقال أنها تُوحّد بين علمي الأثقال في الثقافتين العربية واللاتينية، فعلم الأثقال الوسيط يضمّ تقليد علم الأثقال العربي وعلم الأثقال اللاتيني، ويجمع بينهما على قاعدة نظرية مُشتركة. كما تبين هذه الأطروحة أن ظهور علم الأثقال في الثقافة اللاتينية في أعمال مدرسة جوردانوس نشأ عن عاملين آتيين من مصدر عربي. إن عبارة *scientia de ponderibus* نفسها مُستقاة من ترجمة جيرار الكريموني لكتاب *إحصاء العلوم* للفارابي إلى اللاتينية في القرن الثاني عشر الميلادي، وأول من استخدمها بهذا المعنى هو جونديسالينوس (عاش حوالي 1150) في كتابه المعروف *أقسام الفلسفة* (*De Divisione Philosophiae*). كما أن شرارة الاهتمام بهذا الفن لدى الباحثين الأوروبيين انطلقت بعد صدور الترجمة اللاتينية لكتاب *في القُرْطُون* لثابت بن قُرّة بالضبط، وهو الكتاب المؤسس لتقليد علم الأثقال في الميكانيكا العربية؛ وقد أنجز تلك الترجمة جيرار الكريموني تحت عنوان *Liber karastonis*. وبصفة عامة، إذا كانت الميكانيكا قد أدّت دور الريادة المعروف في العلم الحديث، فإنّ هذا الدور كان قد بدأ يتبلور قبل ذلك بقرون نتيجة لتضافر عوامل نجمت عن

مُبادرتين علميتين مُتعاقتين: تحويل الميكانيكا الإغريقية من جزء هامشي من الفلسفة الطبيعية والرياضيات إلى علم أثقال مستقل في العلم العربي، وتطوير هذا العلم ليصير نظرية ميكانيكية للطبيعة في القرن السابع عشر. إن اكتشاف الدلالة الحقيقية لتأسيس علم الأثقال في التقليد العلمي العربي، وتأسيس هذا التأسيس كتحوّل في تاريخ الميكانيكا يمثلان كشفًا مهمًا يفسّر الكيفية التي تفاعلت بها تقاليد الميكانيكا في العصرين القديم والوسيط. ويندرج التقدم الذي مثله علم الأثقال في نمو المعرفة العلمية ضمن دينامية واسعة أضاف العلم العربي في نطاقها الكثير إلى ما ورثه من العلم الإغريقي في مختلف الميادين، وذلك على الرغم من مظاهر الاستمرارية والاتصال²⁷.

3- حياة الأهوازي وأعماله

أبو الحسن محمد بن عبد الله بن منصور الأهوازي عالم رياضي معروف من النصف الأول من القرن الرابع بعد الهجرة/العاشر بعد الميلاد. تردّد ذكره في كتابات البيروني في الفلك. ومن المحتمل أن يكون أصله من إقليم الأهواز بإيران، وربما عاش فترة من حياته على الأقل في بغداد. ترك الأهوازي عدة مؤلفات حُفِظَت نُسخُها، ولكن لمّا يُنشر منها شيء بعد. ونشرت هذه لرسائله **في الميزان** هي أول تحقيق لإحدى مصنفاته. ومن المهم أن نشير في تحديد هويته وتمييزها إلى عالم آخر هو أبو الحسن علي بن عباس المجوسي الأهوازي (ت. 384هـ/994م) الطبيب مؤلف كتاب **كامل الصناعة الطبية**، وهو غير الأهوازي الذي نتحدث عنه في هذه الدراسة.

ورد اسم الأهوازي في بداية رسالة **في الميزان** كما يلي: «قال الشيخ أبو الحسن محمد بن عبد الله بن منصور الأهوازي»²⁸. ويرد أيضًا في تاريخ العلوم اسم أبي الحسين أحمد بن الحسين الكاتب الأهوازي الذي ذكره سوتر²⁹، وبروكلمان³⁰، وفؤاد سزكين، وينسب إليه الأخير بعض المؤلفات في اللغة والنحو والرياضيات، ومنها رسالته **في الميزان**³¹.

وقد درسنا التفاعل بين تأليف كتب علم الأثقال والمجتمعات الإسلامية، وعلاقتها بمؤسسة الحسبة خصوصًا في:

M. Abattouy, "Science des poids et *hisba*: Prolégomènes à l'étude des structures sociales de la mécanique arabe médiévale," *Les éléments paradigmatiques, thématiques et stylistiques dans la pensée scientifique* (Rabat: Publications de la Faculté des Lettres, 2004), pp. 119-130 ; وحول مؤسسة الحسبة، انظر: محمد أبوطوي، «الأساس الكلامي لمؤسسة الحسبة في الغرب الإسلامي»، *الاتجاهات الكلامية في الغرب الإسلامي* (الرباط: منشورات كلية الآداب، 2005)، ص 293-308.

25 لمزيد من التفاصيل، راجع:

M. Abattouy, "Greek Mechanics in Arabic Context," op. cit., pp. 202-206; M. Abattouy, "The Aristotelian Foundations of Arabic Mechanics," op. cit., p. 130 ff.

26 حول هذه العناصر مجتمعة، انظر:

M. Abattouy, "The Arabic Tradition of 'Ilm al-athqāl (Science of Weights): Texts and Context," op. cit., pp. 66-69; M. Abattouy, "The Arabic Science of Weights ('ilm al-athqāl)," *A Shared Legacy*, op. cit., pp. 106-108.

27 يمكن مقارنة التمييز بين علم الحيل وعلم الأثقال في الميكانيكا العربية بالفصل الذي أقامه فليكيو التقليد العلمي العربي بين علم الهيئة وعلم النجوم. ويعني تأسيس علم الهيئة فصلًا لعلم الفلك الرياضي والنظري عن علم النجوم الذي كان يتضمن علم الفلك بصفة عامة بما في ذلك التنجيم. راجع حول تقليد الهيئة العربي: جورج صليب، **الفكر العلمي العربي. نشأته وتطوره**. جامعة البلمند (لبنان)، مركز الدراسات المسيحية-الإسلامية، 1998، ص 158-162.

28 هكذا ورد اسمه في الدراسات المعاصرة. انظر: أبو القاسم قرباني، رياضيداناني إيراني از خوارزمي تا ابن سينا. طهران، 1350 [1971]، ص 241-245؛

Farzin Negahban, "Abū al-Ḥasan al-Ahwāzī," in: *Encyclopaedia Islamica*, http://dx.doi.org/10.1163/1875-9831_isla_SIM_0147 (accessed on 29 January 2021); David Pingree, "Abu'l-Hasan Ahwāzī," *Encyclopaedia Iranica*, vol. I, fasc. 3, p. 302; accessed on 19 December 2020 at: <http://www.iranicaonline.org/articles/abul-hasan-ahwazi-astronomer-fl>; Boris Rosenfeld and Ekmeleddin Ihsanoglu, *Mathematicians, Astronomers and Other Scholars of Islamic Civilisation and their Works: 7th-19th centuries* (Istanbul, Research Centre for Islamic History, Art and Culture IRCICA, 2003), p. 80, N° 193.

29 Heinrich Suter, *Die Mathematiker und astronomen der Araber und ihre Werke* (Leipzig: B. G. Teubner, 1900), pp. 57-58

30 Carl Brockelmann, *Geschichte der arabischen Litteratur* (Leiden; New York: E. J. Brill, reprint 1996, 5 vols.), Suppl. 1, p. 387.

31 Fuat Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, vol. 1: *Qur'ānwissenschaften...*, *Bis ca. 430 H.* (Leiden: E. J. Brill, 1970), p. 389; vol. 5 (1974), *Mathematik*, pp. 106, 312-313; vol. 7 (1979): *Astrologie*, p. 407; vol. 6 (1978): *Astronomie*, p. 233.

لا يُعرف إلا الشيء اليسير عن حياة الأهوازي وأعماله، إذ يُنسب إليه عدد من الآثار العلمية في الرياضيات والفلك والميكانيكا. ويَرد ذكر الأهوازي في أحد أعمال الرياضي المعروف أبو جعفر محمد بن الحسين الخازن (ت. نحو 360هـ/971م)، كما ورد اسمه مراتٍ عدّة في مصنّفات البيروني؛ ويقتضي ذلك أن يكون قد عاش حوالي 330هـ/941م. ويذكر المؤرخون من أشهر مؤلفاته شرحه على المقالة العاشرة لكتاب **أصول الهندسة** لأوقليدس، أصعب مقالات الكتاب، وقد شرحها الأهوازي في ثمانية فصول. وتوجد نُسخ من شرح الأهوازي في عدة مكتبات مثل مكتبة آياصوفيا في إسطنبول (مخ. 2742)، وليدن (مخ. شرقي 1024)، وباريس (المكتبة الوطنية، مخ. عربي 2467)، والقاهرة (دار الكتب، مخ. ك4528)، وبرلين (مخ. آهلفاردت 5923، موجود الآن في كراكوفيا ضمن المجموع 258 Mf)، وتونس (فهرس المخطوطات في الحساب والجبر والهندسة في المكتبة الوطنية التونسية، مجموعة الأحمدية، مخ. 3/5482، 61-65g). وتبدأ النسخة المحفوظة في برلين بالجملة التالية: «هذه كلمات من شرح المقالة العاشرة من كتاب أوقليدس من تصنيف الأهوازي»³². وربما تدل العبارة على أن العمل مُقتطَف من كتاب أطول³³. وتُنسب إلى أبي الحسن الأهوازي الترجمة العربية للكتاب الفلكي الهندي **أريابهاتيا** من تأليف العالم أريابهاتا (انتهى من تأليفه سنة 499م)، ويسمّيه البيروني «**أرجيه**» في كتاب **تحقيق ما للهند من مقولة مقبولة في العقل أو مردولة**. وعُرفت ترجمة الأهوازي لكتاب **أريابهاتيا** تحت عنوان **الزيج الأرجيهار**، ومكّنت علماء العلم العربي من الاطلاع على بعض نتائج الفلك الهندي³⁴.

كما يذكر البيروني عددًا من المؤلفات الفلكية للأهوازي لا نعرف عنها شيئًا سوى ما ذكره أبو الريحان، ومنها **شرح زيج الخوارزمي** الذي ذكره البيروني في ختام الفهرست المفصل الذي وضعه لكتب محمد بن زكريا الرازي، ولأعماله هو نفسه. قال متحدثًا عن كتبه التي ألّفها إلى حدود سنة 427هـ حين كان قد تمّ من عمره خمس وستون سنة قمرية تعادلها ثلاث وستون شمسية: «قد عملت لزيج الخوارزمي علّة، ووسّمت المسائل المفيدة والجوابات السديّة في 1250 ورقة. وعمل أبو طلحة الطّبيب في ذلك شيئًا يُوجب مناقضته، فعملت إبطال البهتان بإيراد البرهان على أعمال الخوارزمي في زيجه، 360 ورقة. وعُثرت لأبي الحسن الأهوازي على كتاب في هذا الباب ظلم فيه الخوارزمي، فاضطرت إلى عمل كتاب الوساطة بينهما في 600 ورقة»³⁵.

ومن المؤسف أن كلّ المؤلفات المذكورة في هذه الفقرة ضاعت، ولا نعرف شيئًا من مضامينها. كما ذكر البيروني أعمال الأهوازي الفلكية في موضعين آخرين من كتبه دون تخصيص عنوان مُحدّد يشير إليه من مصنّفات سلفه الذي يبدو أنه كان يكنّ له تقديرًا عاليًا. كتب أبو الريحان في **إفراد المقال في أمر الظلال**: «ولأنّ أنصاف الأوتار على نسب أضعافها، فإنّ إذا أنصفت الأوتار المذكورة زالت سمة الأضعاف عن قسّيتها وصارت جيوبًا لها، وآل الأمر فيها إلى الطريق الأول الذي حكيناه عن زيج الشّاه وجماعة من أصحاب الزّيجات، ولم يخالفه في شيء من لوازم الحساب، وإن كان أبو الحسن الأهوازي يستبعده ويظنّه طريقًا غير ما عليه القوم»³⁶. من المستبعد أن يكون الأهوازي هو «أبو الحسن» الذي عالج أرساد ارتفاع منتصف النهار ببغداد في 26 ربيع الأول 217هـ/فاتح مايو 832م، ويبيّن اختلافاتها حسب البيانات المتعلقة بالميل والتغيرات التي تطرأ عليه. ومن المرجّح أيضًا ألا يكون محمد بن عبد الله بن منصور الأهوازي هو أبو الحسن أحمد بن الحسين الأهوازي الكاتب، مُصنّف كتاب **معارف الروم** الذي استشهد به البيروني في **الآثار الباقية عن القرون الخالية** في موقعين، ذاكراً بالخصوص أن الأهوازي عاين ما عاينه في بلاد الروم التي يبدو أنه زارها³⁷. وقد ورد ذكر الأهوازي أيضًا في مواقع مختلفة من كتاب البيروني في الصيدلة، دون أن يوضح أبو الريحان إن كان يعني أبا الحسن الأهوازي، ومن المرجّح أن يكون صاحب هذه المساهمات الطّبية والصّيدلانيّة هو مؤلف كتاب **معارف الروم** وليس الرياضي مؤلف رسالة في الميزان³⁸.

4- محتويات الرسالة في الميزان

وصلنا من أعمال الأهوازي العلمية رسالته في الميزان التي نقدمها للقارئ في هذه المقالة. وتشكل رسالة الأهوازي حول الميزان جزءًا من تقليد علم الأثقال العربي، وتعدّ من ثماره الأولى مثل كتاب **في القرسطون** لثابت بن قُرة، وتتميز بنفحة تعليمية تميل إلى الاختصار. وقد تكون النسخة التي وصلتنا منها في الصورة التي تقدمها مخطوطة باتّنه تلخيصًا لاحقًا لكتاب أطول حول نظرية الموازين وتطبيقاتها.

لا تحمل الرسالة عنوانًا محدّدًا، وقد أثبتنا لها عنوانًا مؤقتًا يدلّ على محتوياتها هو **رسالة في الميزان**، كما ورد في كلّ الفهارس التي تتضمن إشارة

انظر أيضًا الترجمة العربية لكتاب فؤاد سزكين: **تاريخ التراث العربي**، المجلد الخامس: **الرياضيات حتى نحو 430هـ** (الرياض: جامعة الملك سعود، النشر العلمي والمطابع، 1423)، صص 391-393.

32 يُعدّ سزكين 14 نسخة مخطوطة لهذه الرسالة في مكتبات العالم: فؤاد سزكين: **تاريخ التراث العربي**، نفس المرجع، ص. 392.

33 انظر عرضًا لشرح الأهوازي على المقالة العاشرة لكتاب **الأصول**، لا يتضمّن التحقيق النقدي للرسالة في أعمال علي مروان بن ميلد:

Ali Marouane Ben Miled, *Les commentaires arabes au Livre X des Éléments d'Euclide jusqu'au XII^e siècle*, Thèse de doctorat, Université Paris 7, 2003; *Opérer sur le continu: Traditions arabes du Livre X des Éléments d'Euclide* (Carthage: Académie tunisienne des sciences, des lettres et des arts, Beït al-Hikma, 2005).

34 قد تكون إشارة البيروني الواردة في كتابه **تحقيق ما للهند** إلى أن الأهوازي استخدم حسابات هندية لأدوار الكواكب حسب ما ينصّ عليه النظام المُستمدّ من الأريابهاتا مقتبسة من كتاب **الزيج الأرجيهار**. البيروني، **تحقيق ما للهند**... (حيدر آباد: دائرة المعارف العثمانية، 1958)، ص. 357، والترجمة الإنجليزية:

Alberuni's India: An account of the religion, philosophy, literature, geography, chronology, astronomy, customs, laws and astrology of India about A. D. 1030. An English edition, with notes and indices by Edward C. Sachau (London: Kegan Paul, 1910), vol. 2, p. 19.

35 البيروني، **رسالة في فهرست كتب الرازي**، تحقيق بول كراوس (باريس: مطبعة القلم، 1936)، صص 29-30؛ البيروني، **فهرست كتب محمد بن زكريا الرازي**، تصحيح وترجمته وتعليق از دكتور مهدي محقق (طهران: مؤسسه انتشارات وچاپ دانشگاه تهران، 1366 [1985-84])، صص 26-27.

36 البيروني، **رسالة إفراد المقال في أمر الظلال** (حيدر آباد: دائرة المعارف العثمانية، 1367هـ/1984)، صص 56-57.

37 «وحكى أبو الحسن أحمد بن الحسين الأهوازي الكاتب في كتاب **معارف الروم** ما عاينه في القسطنطينية وبلاد الروم من المراتب الدينية والسياسية...» البيروني، **الآثار الباقية عن القرون الخالية**، تحقيق إدوارد ساخاو (لايبزيغ: منشورات الجمعية الألمانية للدراسات الشرقية، 1878)، صص 289-293.

38 من الأمثلة على الفقرات التي ورد فيها اسم الأهوازي، نذكر: «[198] بيض: بالرومية أوا. وقال الأهوازي في **المعارف** أبغا، وبالسرانية بيغا، وقشره البواقي، بالعربية يُسمّى القيص.» البيروني، **الصّيدنة في الطّب**، تحقيق عباس زرياب (طهران: مركز نشر دانشگاهي، 1370هـ)، ص 141.

إلى المخطوطة³⁹، وهو عنوان يُحيل على محتويات الرسالة كما سنعرضها أدناه. يمكن تقسيم رسالة الأهوازي إلى عدة أقسام؛ ففي البداية، يميّز المؤلف بين الميزان العادي والقرسطون الذي يسميه قَبَانًا أيضًا، ويدل هذا الترادف على أنَّ لفظ «القَبَان» استُخدم في زمن مبكر، كما تدل على ذلك الآداب العربية، من أجل تعويض الأصل الإغريقي «قَرَسْطون»⁴⁰ الذي ورد في عنوان **كتاب في القَرَسْطون** لثابت بن قُرة. وسيصبح اللفظ في القرن 5هـ/11م قَبَانًا، مثلما نجده عند الإسفَراري والغازني، قبل أن يعمَّ استخدام كلمة «قَبَان»⁴¹.

ثم يحدّد الأهوازي مبدأ عمل الميزان قائلاً: «إنَّ القصد في الأشياء الموزونة هو مساواتها للسُنْجَة التي توزن بها في الثقل، وإنما تحصل هذه المساواة بموازاة عمود الميزان [للأفق]. فإذا كان مِعلاق الميزان - ويُسمّى مركزه أيضًا - في وسط العمود سواء سُمّي ميزانًا، وإذا كان ذلك في غير وسطه سُمّي قَبَانًا وقَرَسْطونًا.» ويستند التمييز بين الميزان العادي المتساوي الأذرع والقَبَان الذي ينقسم عموده إلى قسمين غير متساويين إلى أنَّ الميزان لا يمكن أن يُوزن به موزونات مختلفة بصنْجَة واحدة، بينما تُوزن في القَبَان موزونات مختلفة بصنْجَة واحدة، وهي الرُّمَانَة.

يلي ذلك الإعلان عن قانون أو مبدأ الرّافعة الذي هو أهم قانون في الميكانيكا القديمة والوسيط: نسبة المسافة الفاصلة بين المِعلاق وموضع تعليق الرُّمَانَة إلى تلك الموجودة بين المِعلاق والطرف الآخر من طرفي العمود كنسبة الموزون إلى وزن الرُّمَانَة. مثلاً، إذا كانت نسبة القسم الأطول من القَبَان إلى قسمه الأصغر مثل نسبة 10 إلى 1، وكان وزن الرمانة 10 أمنا (المن يساوي نحو رطلين ونصف أو حوالي 0,9 كغ)، كان أكثر ما يمكن أن يُوزن بهذا القَبَان 100 من: أي $10 / 1 = 100$ ⁴².



الشكل 1: تمثيل هندسي لقانون الرافعة.

كما تتعرض الرسالة إلى مسألة إصلاح القَبَان، ووضع العلامات على عموده، وإيجاد الرُّمَانَة عندما تكون الأصلية منعدمة، وتقدّم في آخرها وصفاً مُقتَضِباً لعدة أنواع من الموازين: ميزان متساوي الأذرع تكون إحدى كفتيه متحركة على أحد الذراعين، وميزان بثلاثة أذرع، وميزان ثالث بأربع كفات مُعلّقة من أطراف عمودين متساويين يتقاطعان في الوسط على زوايا قائمة. وقد تناولت الرسالة كلّ هذه المواضيع باقتضاب واختصار يدلّان على نزوع مؤلفها إلى إنتاج نصّ قصير يجمع أصول الصناعة في موضوع نظرية الميزان والعمل به، ربما ليضعها بين يدي الطلاب والصُّنَّاع لتعليمهم وإرشادهم. وقد أَلَّف علماء آخرون من المرحلة نفسها كتاباتٍ تسير في هذا المنحى، نذكر منها **مقالة في الأوزان والمكاييل** لإبليّا المطران (ت. نحو 437هـ/1046م)⁴³.

وعلى الصعيد اللغوي، تمثل رسالة الأهوازي - بسبب تاريخها المبكر - مصدرًا ثمينًا للمعجم العلمي العربي، فقد وردت فيها ألفاظ ومصطلحات جديدة بالاهتمام. وإضافة إلى الترادف بين القَرَسْطون والقَبَان الذي أشرنا إليه سابقاً، والذي ورد مرة واحدة، يُسمّى الأهوازي الميزان اللامتساوي الأذرع «القَبَان»، وهو بذلك يكرّس استخداماً مبكراً للفظ نجد له ما يُعَصِّده في الآداب العربية، كما أوضحنا أعلاه. وهو يُعبّر عن التعادل أو التوازن باستخدام تشبيه هندسي هو الموازاة مع سطح الأفق، ثم يُعبّر عنه بالمعطى الفيزيائي المناسب، أي تعادل لسان الميزان. أمّا قانون الرافعة، وهو القانون الأساسي المتحكّم في عمل الموازين، فيُعبّر عنه الأهوازي بطريقة عملية دون إيراد صيغته العامّة، ربّما بسبب الطبيعة المختصرة للرسالة، ولانتشار المعرفة به في أوساط علماء الرياضة وصُنَّاع الموازين.

أمّا مكوّنات الميزان فيصفاها الكاتب بالمفردات العادية التي استقرّ عليها الاستعمال، وهي الرُّمَانَة (الثقل المتحرك على طول الذراع الأطول للميزان القَبَانِي)، والصنْجَة، التي يكتبها بالسين، (الثقل المعيار الذي يُوزن به كالرطل (بفتح الزاء أو كسرهما) والأوقيّة، وهو معيار الوزن الذي يُحقّق استواء العمود والتوازن بين الثقلين المُعلّقين من عمود الميزان). كما سُمّي أجزاء الميزان وبقيّة مكوّنات الوزن بأسمائها المعتادة من كِفّة، وبابٍ، ومِعلاق، وعمود، وموزون.

39 انظر الفهرس الذي أنشأه المشروع الأكاديمي «مبادرة المخطوطات العلمية الإسلامية» (Islamic Scientific Manuscripts Initiative ISMI) بمعهد ماكس بلانك لتاريخ العلوم ببرلين: <https://ismi.mpiwg-berlin.mpg.de/text/121655> (شوهدي في 30 يناير 2021).

40 بدأ استعمال «قَبَان» للدلالة على الميزان القَرَسْطون في الربع الأول للقرن الثالث الهجري، لكن هذا الاستعمال لم ينتشر وبعث سوى في القرن الرابع، كما تدل عليه الشواهد التالية: (أ) قال أبو عبيد الهروي عن «القَبَان»: «لا أحسب هذه الكلمة عربيةً إنّما أصلها قَبَان، ومِنْهُ قولُ العامّة: فلان قَبَان على فلان، إذا كان يَمْنَزِلُ الأمين عليه الرئيس الذي يتتبع أمره ويحاسبه، ولهذا سُمّي هذا الميزان الذي يُقال له القَبَان» (أبو عبيد الهروي (نحو 224هـ/839م)، كتاب غريب الحديث، تحقيق حسين محمد شرف وعبد السلام هارون (القاهرة: مجمع اللغة العربية، 1403هـ/1984)، ص 21. (ب) وكتب الجاحظ (نحو 255هـ/869م): «ألا ترى أنَّ أمورا كثيرة وفوق الكثيرة من الأمور الملتوية والمعوجة، لو كانت مستوية مستقيمة، لَعَظُم الضرر وظهرت الخلّة. فمن ذلك الأضلاع والمفاتيح، والمزاليح (...) ومعاليق رُمَانات القَبَانات والقَرَسْطونات» (الجاحظ، كتاب البُرْصان والعُرْجان والعُمَيان والحُولان، تحقيق عبد السلام هارون (بيروت: دار الجيل، 1410هـ/1990)، صص. 256-257). كما قال في كتاب آخر: «ألا ترى أنَّ اليونانيين الذين نظروا في العلل لم يكونوا تجاراً ولا صنّاعاً بأفهمهم (...) فصنعوا من المرافق، وصاغوا من المنافع كالقَرَسْطونات، والقَبَانات، والأسطرلابات» (الجاحظ، مناقب الترك، في: رسائل الجاحظ، نشرها علي أبو ملح (بيروت: دار ومكتبة الهلال، 2002): ج 1، ص 508).

41 حول الانتقال من «القَرَسْطون» إلى «القَبَان»، انظر الإحالات المشار إليها في الهامش 12. ونضيف هنا ما يلي: ورد لفظ «قَبَان» في المعجم اللغوي الشهير للخليل بن أحمد الفراهيدي الذي يقال إنّه جُمع بتاريخ وفاة الخليل بن أحمد نحو 170-175هـ. وهذا هو المدخل المعني: «قسطس: القسطاس والقسطاس لغة أقوم الموازين، ويقال هو الشاهين، والقَرَسْطون القَبَان شامية» (الخليل بن أحمد الفراهيدي، كتاب العين، تحقيق مهدي المخزومي وإبراهيم السامرائي؛ بيروت: دار ومكتبة الهلال، د. ت.، المجلد الخامس، ص. 249). وبسبب التحقيب المشار إليه أعلاه لتطور قرسطون - قَبَان، فإن ورود قَبَان في العين يعزز الفرضية القائلة بأنّ تاريخ تأليف المعجم يعود إلى زمن لاحق. يراجع حول هذا الموضوع:

Ramzi Baalbaki, *The Arabic Lexicographical Tradition From the 2nd/8th to the 12th/18th Century* (Leiden: Brill, 2014), p. 282 ff.

انظر الترجمة العربية للكتاب: رمزي منير بعلبكي، التراث المعجمي العربي من القرن الثاني حتى القرن الثاني عشر للهجرة (الدوحة) بيروت: المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات، (2019).

42 المنّ (ج. أمّاء) قياس للوزن استُعمل على نطاق واسع في الكيل والوزن في النصوص العربية الكلاسيكية. انظر: فالتر هنتس، المكاييل والأوزان الإسلامية وما يعادلها في النظام المتري، ترجمة عربية (عمّان: الجامعة الأردنية، 1970).

43 انظر مقالنا: محمد أبطوي، «إبليّا المطران النصيبيني»، موسوعة أعلام العلماء والأدباء العرب والمسلمين (تونس: المنظمة العربية للترجمة والثقافة والعلوم/بيروت: دار الجيل، 2004/1425)، الجزء الثاني، صص 619-622.

- {...} : ما سقط من النسخة المخطوطة، ويثبت بالإحالة إلى هامش مرتبط
- علامات الترقيم: أضفنا علامات الترقيم للنص مثل النقطة (.) والنقطتين (:). والفاصلة (،) وعلامات التنصيص («...») لتسهيل القراءة والفهم.
- و، ظ: صفحة وجه وصفحة ظهر ورقة المخطوطة على التوالي.
- الهوامش: يشار إلى التعليق برقم الحاشية، حسب ترتيب الأرقام
- العالية: 1، 2، 3، ...
- الشكل: ضبطنا بالشكل بعض الكلمات لتجنب الالتباس.
- علامات الترقيم: أضفنا علامات الترقيم للنص مثل النقطة (.) والنقطتين (:). والفاصلة (،) وعلامات التنصيص («...») لتسهيل القراءة والفهم.
- كما قسّمنا النص الأصلي إلى فقرات حسب المحتوى لتيسير الفهم. غير
- أن قصر النص وحلّو المصدر المخطوط من الرسوم والأشكال سهل المهمة في هذا الباب.
- الكتابة: تقيّدنا بالأشكال الإملائية المقبولة حاليًا في النصّ بمجمله.

6- التحقيق النقدي

جدول 1. رسالة في الميزان لأبي الحسن محمد بن عبد الله بن منصور الأهوازي

المصدر: المكتبة الشرقية بخودا باكش، باتنه (الهند)، الرسالة الثانية في مخطوطة 2928، ورقة 31 وجه - ظهر.

ورقة 31و	بسم {الله} ⁴⁷ الرحمن الرحيم.	1
قال الشيخ أبو الحسن محمد بن عبد الله بن منصور الأهوازي:		
الحمد لله الذي هو في السماء إله وفي الأرض إله، خضعت الأشياء لقدرته وشهدت المخلوقات برؤيئته.		
5	اعلم أن القصد في الأشياء الموزونة هو مساواتها للسُنْجَة ⁴⁸ التي يُوزَن بها في الثقل، وإنما تحصل هذه المساواة بموازاة عمود الميزان [للأفق]. فإذا كان مِعْلاق الميزان، ويُسمَّى مَرْكَزَه أيضًا، في وسط العمود سواء سُمِّي ميزانًا، وإذا كان ذلك في غير وسطه سُمِّي قَبَانًا وَقَرَسُطُونًا.	
10	ثم [إن] الميزان لا يمكن أن يُوزَن به بِسُنْجَة واحدة موزونات مختلفة، لكون مركزه في وسط عموده، وثبات كِفْتِيَه في طرقي العمود. وأما القَرَسُطُون والقَبَان فإنه يمكن أن يُوزَن بهما ⁴⁹ بِسُنْجَة واحدة - وهي الرُّمَانَة - موزونات مختلفة لكون المركز مائلًا عن الوسط و[ل]استقامة الرُّمَانَة على العمود. ثم إن تلك الموزونات تنتهي إلى حد لا يمكن أن يُوزَن بذلك القَبَان وبتلك الرُّمَانَة أكثر منها.	
15	فإذا كان الغرض في القَبَان والقَرَسُطُون أن يُوزَن بِسُنْجَة واحدة - وهي الرُّمَانَة - موزونات مختلفة. وإذا كان ما يُوزَن به مِعْلَاقُه في وسطه، فإن الموزون يكون مُوَازِيًا للسُنْجَة في الثقل. وإن لم يكن مِعْلَاقُه في وسطه فلا يوازي العمود سطح الأفق، ولا يكون الموزون مثل السُنْجَة في الثقل.	
20	ثم [ل] معرفة ذلك أن نسبة ما بين المِعْلاق والمَوْضِع الذي تُعَلَّق عليه الرُّمَانَة إلى ما بين المِعْلاق والطَّرَف الآخر [من] طرفي العمود كنسبة الموزون إلى وزن الرُّمَانَة. فإذا كان القَبَان نسبة قِسْمِه الأطول إلى قِسْمِه الأصغر [مثل] نسبة العَشْرَة إلى الواحد، وكان وزن الرُّمَانَة عَشْرَة أُمْنَاء ⁵⁰ ، كان أكثر ما يمكن أن يُوزَن بهذا القَبَان مائة مَن. وإن كان وزن الرُّمَانَة عشرين مَنًا كان أكثر ما يمكن أن يُوزَن به مائتي مَن، وعلى هذا فقس.	
25	فإن كان وزنها عَشْرَة وَعُلِّقَت على منتصف القسم الأطول، كان الموزون خمسين مَنًا. وإن عُُلِّقَت على عَشْرَة كان الموزون عَشْرَة. وإن عُُلِّقَت على عَشْر عَشْرَة كان الموزون مَنًا واحدًا. فإن كان وزن الرُّمَانَة أكثر من عَشْرَة فقس عليه.	
30	وإن أردنا أن نصحَّ قَبَانًا، فإننا نقسِّم عموده بقسمين مختلفين وكأنا قسَّمنا على أن يكون قِسْمُه الأطول عَشْرَة أُمْتَالٍ قِسْمِه الأصغر ⁵¹ ، فنجعل مِعْلَاقَه في موضع القِسْمَة، ثم نجعل رُمَانَتَه على أي وزن شئنا وكأنا جعلناها عَشْرَة أُمْنَاء، فنقول: إن أكثر ما يمكن أن يُوزَن بهذا القَبَان مائة مَن.	
35	ثم نقسِّم قِسْمِه الأطول بنصفين ونُعَلِّم على المنتصف علامة هي علامة الخمسين، ثم نُقَسِّم كل نصفٍ بخمسة، ونُعَلِّم على مواضع القِسْمَة علامات. والعلامة الأولى ⁵² هي علامة العَشْرَة والثانية علامة العشرين والثالثة علامة الثلاثين، وعلى هذا القياس إلى طرف القسم الأكبر.	

47 ساقطة.

48 «سُنْجَة» بالسَّين في المخطوطة.

49 منها في المخطوطة..

50 أمنا: تتكرر في المخطوطة.

51 غير واضحة في المخطوطة.

52 لى: مخ.

- ثم نُقسِّم كلَّ واحدٍ من هذه العَشْرَات بعَشْرَة، ونُعَلِّم على مواضع القسمة علاماتٍ، وكلُّ علامة منها هي علامة مَنْ واحد. فحينئذ يمكن أن يُوزَن من مَنْ واحدٍ إلى مائة مَنْ مَنَّا بِحصول الرُّمَّانة على العلامات. فإن أردنا أن نُثَبِّت فيه⁵³ ما هو أَقَلُّ من مَنْ قَسَمْنَا هذه الأقسام الصَّغار على ما أردنا.
- وإن أردنا أن يزن هذا القَبَّان أكثر من مائة [مَنْ] جعلنا في كِفَّتِهِ ما أردنا، وعَلَقْنَا الرُّمَّانة على طرف قسِمِهِ الأكبر، وعَلَقْنَا عليها ما أردنا من الأجسام الثَّقِيلَة⁵⁴ تعليلًا يوازي به عَمُودُهُ سطحَ الأفق؛ ثم نزن الأشياء المعلقة بالرُّمَّانة على حِدَة، وننظر كم قسَمًا إلى الرُّمَّانة، فما كانت فهي نسبة ما زاد على المائة إلى المائة. وذلك أَنَّهُ إن كانت هذه الأشياء المُعلَّقة عَشْرَة أَمْناء، كان الموزون مائتي مَنْ؛ وإن كانت خمسة كان الموزون مائة وخمسين، وعلى هذا القياس .
- وإن ضاعت رُمَّانة القَبَّان ثم وجدنا رُمَّانةً أخرى وزنها عشرون، ثم وزنا بهذا القَبَّان شيئًا، فإننا نضاعف العدد الذي وافقت علامته موضعَ الرُّمَّانة. وإن وجدنا رُمَّانةً هي خمسة عشر مَنَّا زدنا على العدد نصفه. فقد بان بما ذكرنا كيف نزن بأيِّ قَبَّان شئنا ما شئنا، إذا كان وضع ذلك القَبَّان على شيء معلوم.
- وإنما جُعِلَ لبعض القَبَّانات مِعلَقان ليكون أكثرُ ما يُوزَن بأحدهما أكبرَ مما يُوزَن بالآخر، لأنَّ المِعلَق الأقرب⁵⁵ إلى طرف القسم الأصغر يحتمل من الوزن أكثرَ ممَّا يحتمل المِعلَق الأبعد منه؛ ولذلك⁵⁶ سُمِّيَ ما يُوزَن بالمِعلَق الأبعد البابَ الصغير، وسُمِّيَ ما يُوزَن بالمِعلَق الأقرب البابَ الكبير.
- ويجب أن تعلمَ أنَّ المُعْتَبَر في هذه القِسمة هو موضع تعليق⁵⁸ الكِفَّة. وموضع تعليق⁵⁹ الرُّمَّانة ليس⁶⁰ هو الاعتبار على الحقيقة⁶¹. أمَّا إن اعتُبر الطرفان ففيه بعض السَّماح.⁶² ويجب أن يُعْتَبَر في الأمتعة الموزونة وزنُ السِّلْسلة والعقرب والكِفَّة، فيُحِطُّ من الموزون.
- وقد يمكننا بهذا عمل⁶³ ميزانٍ يكون مِعلَقُهُ في وسطه وله لسان، فتكون الكِفَّة التي فيها الموزون تتحرك على نصفَي العمود، والكِفَّة التي فيها السَّنْجَة ثابتة في الطَّرَف. ثم نقسم النِّصف الذي تتحرك عليه الكِفَّة التي فيها الموزون بأيِّ قسمة شئنا، فيمكننا حينئذ أن نزن بِسَّنْجَة واحدة موزوناتٍ مختلفةً بتحريكنا الكِفَّة على النِّصف المقسوم.
- وذلك أَنَّهُ إن كانت السَّنْجَة مائةً ووضعناها على المنتصف من النِّصف المقسوم، واستوى لسان الميزان // كانت الدراهم مائتين⁶⁴، وإن وضعنا الكِفَّة على موضع الثُلث كانت مائة وخمسين، وإن وضعناها على موضع الثُّلثين كانت ثلاثمائة، وبالعكس أيضًا.
- فأما متى جعلنا الكِفَّة التي فيها السَّنْجَة متحركةً على أحد النصفين، وقسمنا هذا النِّصف بأيِّ قسمة شئنا، وجعلنا الكِفَّة التي فيها الدراهم ثابتةً في الطَّرَف، وكانت السَّنْجَة مائةً، وجعلنا الكِفَّة التي فيها السَّنْجَة على المنتصف، وجعلنا في الكِفَّة الأخرى من الدراهم ما يستوي به اللسان، كانت الدراهم مائةً.
- فإن جعلناها على موضع الثُلث كانت ستَّة وستين وثلثين، وإن جعلناها على علامة الثُّلثين كانت الدراهم ثلاثة وثلثين وثلثًا. ومتى كانت السَّنْجَة في هذين العملين أكثر من مائة أو⁶⁵ أَقَلُّ، فعلى هذا القياس.
- وقد يمكننا أيضًا بهذا التدبير أن نعمل ميزانًا له ثلاثُ كِفَّاتٍ ومِعلَقٌ ولسان، بأن نخرجَ من موضع مِعلَقِهِ على زوايا قائمةٍ مثل نصفِ عمودِهِ، ونُعَلِّقَ في طرفه كِفَّةً؛ فإذا وضعنا في الكِفَّات الثلاث أشياءً ثَقِيلَة يستوي بها لسان الميزان كانت الأشياء الموضوعة في الكِفَّات متساويةً في الثَّقَل.

ورقة 31 ظ

53 ثبت فيه: ثبت ما فيه مخ.

54 الثقيلة: مخ.

55 المِعلَق الأقرب: غير واضحة في مخ؛ يظهر منها «قرب» فقط.

56 وكذلك: مخ.

57 بياض هنا في مخ: «ما يُوزَن» قراءة مقترحة تبدو مناسبة للسياق.

58 معلق: مخ.

59 معلق: مخ.

60 ربما «لصرا»: مخ.

61 أي: ليس هو ما يعتبر في الحقيقة.

62 غير واضحة في المخطوطة.

63 العمل: مخ.

64 «الدراهم مائتين»: كلمتان ممسوحتان في المخطوطة، أثبتناهما حسب السياق.

65 و: مخ.

85 وقد يمكننا أن نعمل ميزاناً له أربع كِفَّات، بأن نعمل له عمودين متساويين يتقاطعان في الوسط على زوايا قائمة، ونعلّق في طرف كلّ واحدٍ منهما⁶⁶ كِفَّة. فإذا وضعنا في هذه الكِفَّات الأربع أشياءً ثقيلاً وضعاً يستوي به الميزان كانت الأشياء الموضوعة في الكِفَّات الأربع متساوية في الثقل.

فهذه المقالة كافية في معرفة نسبة القَبَّان وكيفية [تحديد] سَنَجَتِهِ.

90 والحمد لله تعالى وحده، والصلاة على سيّدنا محمد⁶⁷ وآله الطاهرين.

66 منها: مخ.

67 سيدنا محمد: محمد سيدنا مخ.

ورقة بحثية

دور الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار نمو القمح لدعم إدارة العملية الإنتاجية في سوريا

ناصر طرّاف إبراهيم^{1,2*}

¹ مدير بحوث، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، سوريا. ² خبير الاستشعار عن بعد، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد)، جامعة الدول العربية.

*Dr.NasserIbrahim@gmail.com

المخلص

تُمثل المحاصيل الاستراتيجية، وخاصة القمح، جوهر الأمن الغذائي. ويُعتبر القطاع الزراعي ذا تأثير مباشر في حياة الإنسان وغذائه، ولكن بما أنه الأكثر تعاملًا مع الظروف الطبيعية؛ فإن إدارته يجب أن تتم برؤية تكاملية لعناصر الإنتاج الطبيعية والبشرية خلال عملية النشاط المحصولي من مستوى الحقل حتى مستوى الدولة. تهدف هذه الدراسة إلى مراقبة علاقة الأطوار الفينولوجية للقمح بموعد النضج والحصاد في كافة أنحاء سوريا، بوسائل الاستشعار عن بعد ضمن علاقة «الزمن - المكان - طيف»، وذلك من أجل دقة تقدير الإنتاجية في كل منطقة، وإدارة العملية الإنتاجية بمراحلها المختلفة في موسمي عامي 2014 و2016 على مستوى البلاد. توصلت الدراسة إلى نتائج عدّة، منها: وصل عدد الأطوار الفينولوجية المتباينة بتوقيت متزامن إلى ستة أطوار في بداية أبريل باختلاف المكان الجغرافي على مستوى البلاد. وبتحديد توقيت النضج اللبني - الشمعي طيفيًا لكل نطاق جغرافي، وُجد أن نضج القمح المبكر طيفيًا كان في مناطق الزراعة المطرية، وخاصة قرب منطقتي الاستقرار المطري الثانية والثالثة بمساحات متفرقة وغير مركزة في نطاق محدد. في حين يبدأ تتابع النضج الزمني بفترات متقاربة داخل البلاد بدءًا من الجنوب في اتجاه الشمال، ومن وسط البلاد في اتجاه الحدود وخاصة الشمالية والغربية، ومن المناطق السهلية في اتجاه الجبلية. كما تم تحديد مسارات النضج فضائيًا لتتبعها في عملية الحصاد، وتم تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية وفق مسارات النضج. وخلصت الدراسة إلى توصيات منها: تجهيز أماكن التخزين بالطاقة التخزينية الكافية لاستيعاب الإنتاج المتوقع وفق مسارات النضج؛ وزيادة الحجم التخزيني المباشر بالقرب من حقول الإنتاج لتقليل الفقد وسرعة التخزين، وزيادة الحجم التخزيني المستدام ذي الصفة الاستراتيجية، وتطوير عملية النقل بالقطارات من أماكن التخزين المؤقت إلى صوامع التخزين بالقرب من مناطق الاستهلاك، والتطبيق الدوري لهذه التكنولوجيا خلال مواسم النمو بما يرفع كفاءة إدارة العملية الإنتاجية المحصولية.

الكلمات المفتاحية: أطوار القمح، العملية الإنتاجية، الاستشعار عن بعد، سوريا.

Title

The role of remote sensing in monitoring the wheat's growth phonological phases to support the yielding process management in Syria

Nasser Tarraf Ibrahim^{1,2*}

¹ Director of research, General Organization of Remote Sensing, Damascus, Syria.

² Expert of Remote Sensing, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus, Syria.

Received 29 December 2020; accepted 28 June 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Ibrahim NT. The role of remote sensing in monitoring the wheat's growth phonological phases to support the yielding process management in Syria. Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.9. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.9>

Strategic crops, especially wheat, represent the core of food security. As the agricultural sector, with its direct impact on feeding the world's population, deals with natural conditions, it should be managed with an integrated vision of the natural and human factors influencing the crops production process from the field level (micro level) up to the country level (macro level). **Aim:** This study aimed to monitor the relationship of the phenological phases of wheat with the maturity and harvest timing throughout Syria. **Method:** Remote sensing techniques were used to show the relationship of time-place-spectrum (TIPLAS) in order to obtain accuracy of yield estimation in each zone and to manage the yielding process of wheat (2014 and 2016 seasons) across Syria. **Results:** The study recorded six different phenological phases occurred simultaneously (at the beginning of April) regardless of the geographic location of the fields across the country. The date of the milky-waxy maturity spectrally for each geographical zone was determined. Early maturity spectrally of wheat was associated with rain-fed areas, especially with the second and third rain stability zones, with dispersed areas and not concentrated in a specific range. Temporal maturity begins as a converging period within the country, starting from the south towards the north and from the center of the country towards the borders, especially the northern and western, and from the plain areas towards the mountains. Maturation paths spectrally were plotted to follow the harvesting process. The estimations of wheat cultivated areas and production were based on satellite-image data according to the maturity paths. **Recommendations:** Preparing storage places with sufficient capacity for the expected production volume according to the maturation paths; increase the direct silos volume near the production fields to reduce losses and increase speed of storage; increase the strategic sustainable storage capacity; developing the railway logistics between storage facilities and consumption areas; and the periodic application of this technology during the growing seasons to raise the management efficiency of the crop production process.

Keywords: Wheat phenological phases, yielding process, remote sensing, Syria.

1- المقدمة

المكانية وقواعد البنية التحتية بنظم المعلومات الجغرافية في عمليات التسويق وتجهيز مراكز الاستلام من خلال تحديد الأولويات، مما يساهم في وضع وإدارة الخطط الاقتصادية بدقة وعلى مستوى شامل.

تعد أطوار النمو النباتي تمثيلاً مباشراً للنمو المحصولي، بما يعكس التغيرات الحيوية بتأثير المناخ والظروف البيئية؛ وبناء عليه، فإن معرفة الأطوار الفينولوجية المحصولية تعتبر جزءاً أساسياً في بناء النماذج المحصولية، إذ إن المعلومات الفينولوجية تعكس توزيع المادة المنتجة خلال مراحل النمو.^{4,3} وتوفر تقنية الاستشعار عن بعد إمكانية أكبر لرصد الأطوار الفينولوجية المحصولية، إذ إنها ذات فاعلية اقتصادية في مراقبة نمو المحاصيل لمناطق واسعة، وقادرة على تسجيل حالة نمو المحاصيل الحقيقية خلال موسم النمو.^{6,5} وقد بينت نتائج دراسية إمكانية اشتقاق القياسات الفينولوجية استشعارياً واستخدامها في تقدير تغيرات النمو الزمانية والمكانية في حقول المحاصيل، وبما يساعد في تفهم الإدارة المزرعية الدقيقة.⁷ وقد سبق أن أشارت دراسة إلى أن حركية الأطوار الفينولوجية المحصولية تعكس حركية النظم الزراعية، ومن ثم، تعدّ دراستها بالبيانات الاستشعارية التسلسلية وسيلة مهمة لدراسة تطور المحاصيل وفق ما تم تطبيقه على بيانات (VEGETATION) و (AVHRR).⁸ وتعد معلومات الأطوار الفينولوجية أساسية في عملية تقدير إنتاجية المحاصيل وإدارتها، حيث تم استخدام بيانات (MODIS EVI) متتاليةً زمنياً لمراقبة أطوار القمح.^{10,9} وتُمكن مخططات نمو القمح وفق نماذج الإنتاجية المبنية على قيم الدليل النباتي (NDVI) المستنبط في الحقل والمطبق على بيانات (NOAA-AVHRR) من تقدير إنتاجية القمح.¹¹ وقد طُوّر نموذج أولي لنظام مراقبة المحاصيل، بالاستعانة بنماذج المحاكاة المحصولي لتوليد خرائط النمو المحصولي اليومي وتوقع الإنتاجية الحبية على مستوى المحافظة.¹² وتم تمثيل محاكاة سلسلة بيانات استشعارية لقيم دليل مساحة الأوراق في نموذج (WOFOST) لتحسين دقة تقدير إنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية عن طريق إيجاد النماذج التطبيقية لكل منطقة بهدف رفع دقة التقدير.¹³ وقد أدى تمثيل محاكاة الأطوار الفينولوجية مع دليل مساحة الأوراق في البيانات الاستشعارية إلى تحسين تقدير إنتاج القمح في كل منطقة على حدة.¹⁴ وتم تقييم التقدير المناطقي لإنتاج القمح بتمثيل محاكاة البيانات الاستشعارية بازدواج النموذجين (WOFOST-PROAIL) في ثلاثة مواقع، وأظهرت النتائج رفع كفاءة النماذج المقترحة في تقدير الإنتاجية مقارنة بالقيم الحقيقية.¹⁵ وقد

تُمثل المحاصيل الغذائية الاستراتيجية، وعلى رأسها القمح، في المنطقة العربية، جوهر الأمن الغذائي، ومع المحاصيل الرئيسة مصدر الأمن الزراعي، محققةً بذلك الأمن القومي واستقرار الشعوب. وبما أن القطاع الزراعي هو الأوسع انتشاراً والأكثر تعاملًا مع الظروف الطبيعية، وأيضاً ذو التأثير المباشر في حياة الإنسان في غذائه اليومي وتوازنه المعيشي؛ فإن إدارته، وخاصة المحاصيل الاستراتيجية، يجب أن تتم بأسلوب علمي ورؤية تكاملية تقوم على تكامل عناصر الإنتاج، طبيعية وبشرية، خلال دورة النشاط المحصولي، بدءاً من المستوى التفصيلي إلى الشامل على مستوى البلاد. لذا، من الضروري دراسة ومعرفة جميع العناصر والظواهر التي تدخل وتؤثر في مكونات الإنتاج، الطبيعية منها و/أو الصناعية (التي من صنع الإنسان)، ومن ثم عملية إدارتها من العنصر البشري، التي يجب أن تعكس أهمية هذا المنتج والاستفادة القصوى من كمية الإنتاج المحققة. يتم ذلك من خلال إدارة وتجهيز أدوات الإنتاج والحصاد، بدءاً من مراحل النمو الأولى، مروراً بالنضج ثم الحصاد، حتى الجمع والتخزين، بما يرفع من الإنتاج ويقلل من حدوث الفقد، خاصة بعد مرحلة التكوين المحصولي لها؛ أي النضج والحصاد، وفي المراحل اللاحقة حتى توجيهها إلى أماكن التخزين الدائم، لتحقيق أعلى مردود في الكمية الفعلية المخزنة القابلة للاستهلاك من خلال رفع كفاءة عملية الإدارة في الإنتاج والحصاد والتخزين والتسويق بالاستفادة من عامل الزمن.

بلغ متوسط نسبة الاكتفاء الذاتي من القمح في البلدان العربية 42%، وراوحت النسبة بين 0-100% حسب الدولة وموسم الإنتاج.¹ تعد سوريا الدولة الوحيدة في الوطن العربي التي تعتمد على مواردها الذاتية في تأمين حاجاتها من القمح (حتى موسم 2016)، حيث يشغل القمح فيها مساحة 1.9-1.2 مليون هكتار (بنسبة 7-10.5% من مساحة البلاد، وتعادل 22-31% من المساحة القابلة للزراعة البالغة 33% من مساحة البلاد) بإنتاج 2.1-4.7 ملايين طن حسب الوفرة المناخي وخاصة المائي.²

تتجلى الأهمية العظمى للاستشعار عن بعد في عملية مراقبة الأطوار الفينولوجية للقمح التي تعدّ مؤشراً قوياً لكل من كمية الإنتاج وموعد النضج والحصاد، حسب كل نطاق جغرافي ومناخي. وترصد هذه التكنولوجيا حركية الأطوار الفينولوجية للقمح ضمن علاقة «الزمن - المكان - طيف» خلال موسم النمو، ليتسنى لها توجيه وإدارة العملية الإنتاجية مع البيانات

تبيّن أن استخدام قياس المنحنى الفينولوجي عن طريق دمج نماذج الانحدار لبيانات الانعكاس الطيفي مع الأدلة الطيفية النباتية من الصور الفضائية عالية التكرارية الزمنية الناتجة من تنالي صور (Landsat 8) و (Sentinel-2) ذات الدقة المكانية المتوسطة (10-30م) قد أدى إلى دقة تقدير إنتاجية القمح بخطأ قدره 0.201 طن/ هكتار، ومعامل تحديد 0.73، لمدة ثلاث سنوات متتالية (2016-2018).¹⁶ وأدى تطوير مقارنة (Simple and Effective Wheat Mapping Approach) باستخدام الصور الفضائية عالية الدقة (Sentinel-2) متعددة الأطياف خلال مراحل النمو (8 صور فضائية) إلى رسم خرائط ومساحات القمح المزروع في سهل البقاع اللبناني بدقة وصلت 82.6% و 87% في موسمي 2016 و 2017، على الترتيب.¹⁷ وللمنطقة ذاتها من سهل البقاع اللبناني، تمت مراقبة الأطوار الفينولوجية لنمو القمح باستخدام الصور الرادارية (Sentinel-1)؛ فحصل تمييز بين: مراحل الإنبات والحصاد من بيانات نسبة الاستقطاب (VV/VH)، ومرحلة التسبيل من بيانات الاستقطاب (VV)، بينما مرحلة النضج اللين من بيانات الاستقطاب (VH)، وذلك بدقة تقدير إحصائي وفق مؤشر (RMSE) بلغت: 2.9 يوم للإنبات، 5.5 أيام للتسبيل، و 5.1 أيام للنضج اللين، و 3 أيام للحصاد في المنطقة المدروسة.¹⁸ وقد تم اقتراح استخدام السلاسل الزمنية للدليل النباتي وفق نموذج (Automated Early-season Method to Map) (AEMMS) (Winter Wheat using the Sentinel-2 data) من بيانات الصور الفضائية متعددة الأطياف (Sentinel-2) عن الرادارية لمراقبة أطوار نمو القمح في رسم خرائط القمح في مقاطعة شاندونغ (Shandong) في الصين،¹⁹ حيث بلغت قيمة معامل التحديد (determination coefficient) 0.8973 للبيانات المقدرة بالنموذج مقابل البيانات الحقيقية، ودقة عالية في إنتاج خرائط القمح وصلت إلى 97.8% كدقة عامة بمعامل كابتا بلغ 0.9368.¹⁶ وتم استخدام نموذج (Global Yield Mapper in Earth Engine) (GYMEE) لتقدير إنتاجية محصول القمح (ومحاصيل أخرى) في عدة مناطق من العالم في لبنان والبرازيل وإسبانيا من بيانات صور فضائية (ذات دقة مكانية 30 مترًا) وأخرى مناخية، وتربة. وبينت نتائج الإنتاجية المحسوبة المقدرة بالنموذج مقابل تلك القيم الحقيقية المسجلة أن أداء النموذج كان مثاليًا، خاصة في لبنان بأقل خطأ (RMSE) بلغ 0.6 طن/ هكتار، ومتوسط خطأ مطلق (MAE) بلغ 0.5 طن/ هكتار، ومتوسط خطأ أساس (MBE) بلغ 0.06 طن/ هكتار، وخطأ نسبي (RE) بلغ 83%.²⁰ وتعدّ عملية تقليل كمية الفاقد من الكم المنتج عن الممكن هي زيادة في الكم الحقيقي الممكن النهائي، وخاصة إذا ما تعلق الأمر بمنتج تأخذ فترة نشاطه الإنتاجي مراحل زمنية متعددة وبعمليات مختلفة، حيث يمكن أن يحصل هذا الفاقد في أي مرحلة منه وينسب متفاوتة. لقد حاز فقدان الإنتاج، وخاصة بعد الحصاد، على موجة من الاهتمام منذ ثمانينات القرن العشرين.²¹ فعلى الرغم من كون مشكلة الفاقد في المحاصيل الزراعية مشكلة عالمية، فإنها تبرز على نحو أكثر وضوحًا في الدول النامية نتيجة لطبيعة الظروف الاجتماعية والاقتصادية السائدة فيها، وقلة توافر الوسائل الفنية التي يمكن بها تقليل هذا الفاقد إلى حده الأدنى.²² وقد قدرت إحدى دراسات المنظمة العربية للتنمية الزراعية أن نسبة الفاقد قبل الحصاد مباشرة (بعد النضج) تراوح بين 6-10%، وعند عملية الحصاد تصل إلى 10-15%، وترتفع إلى 29% عند وصولها إلى الصوامع.²³ في حين بلغ فاقد محصول القمح في مصر حوالي 438 ألف طن، وهو يمثل نحو 6.3% من إجمالي الإنتاج الذي بلغ حوالي 8.1 ملايين طن خلال الفترة 2013-2015.²⁴ وقد أوضحت دراسة أن كمية الفاقد الكلي المقدرة تتوزع على مراحل: الزراعة، والحصاد، والدراس، والتجفيف، والتعبئة، والنقل والتخزين كنسب من الفاقد بما يلي: 22.1%، 18.1%، 20.6%، 18.9%، 10.1%، 5.6%، 4.6%، على

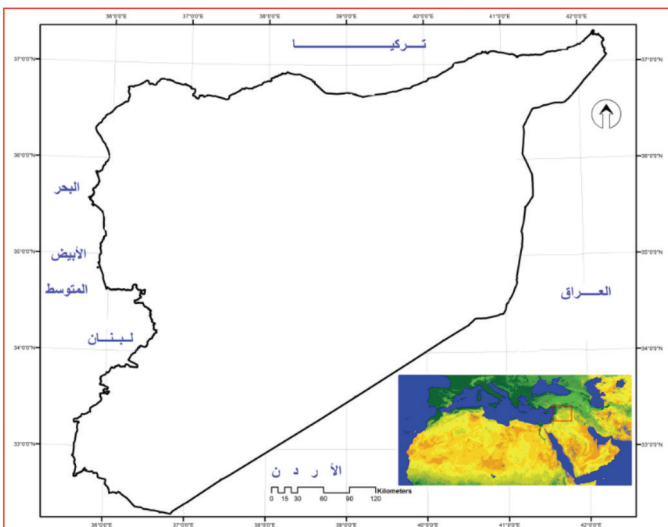
التوالي.²⁵ وقد سجل فاقد إنتاج القمح نتيجة تأخير الحصاد حوالي 30 كغ/ هكتار/ يوم، نتيجة الظروف الجوية من تغيرات حرارية و/ أو ظروف معاكسة، وكذلك العوامل الحيوية.²⁶ بينما بينت إحدى الدراسات أن نسبة الفاقد قد تصل إلى 30% من الإنتاج بعد الحصاد في مراحل مختلفة إلى المخازن.²⁷ وقد بلغ فاقد إنتاج القمح خلال عملية النقل من مراكز التخزين إلى مراكز الاستهلاك حوالي 11.8% من كمية الحب المحصود، في حين قُدّر الفاقد خلال الحصاد والتخزين بـ 93.2% من الفاقد الكلي المسجل.²⁸ وقد وُجد أن النقل بالقطار يقلل الفاقد المباشر 55-65% من النقل بالشحن على الطرق للكمية المراد نقلها، فضلًا عن التكلفة المالية الأقل بشكل كبير.²⁹

يقوم هذا البحث على تحديد المناطق القابلة لزراعة القمح في سوريا، باستخدام التحليل الطيفي لسلاسل الصور الفضائية بالأدلة الطيفية النباتية، بهدف: أولًا، مراقبة حركية أطوار نمو القمح مع الزمن بوحدة المكان/ المحصول من البيانات الطيفية وفق علاقة الزمكاني (الزمن - مكان - طيف) لصور فضائية عالية الدقة المكانية/ متعددة المراحل الزمنية، ثانيًا، تقدير إنتاجية القمح بدقة لكل نطاق جغرافي - زراعي بنظمه الزراعية المتعددة، ثالثًا، تطبيقها في إدارة العملية الإنتاجية لمحصول القمح على مستوى البلاد.

2- مواد البحث

2-1 منطقة الدراسة

تُمثل أراضي الجمهورية العربية السورية وحدة منطقة الدراسة (الشكل 1) لمراقبة أطوار نمو وحركية نشاط محصول القمح في إدارة العملية الإنتاجية.



الشكل 1. موقع سوريا الجغرافي.

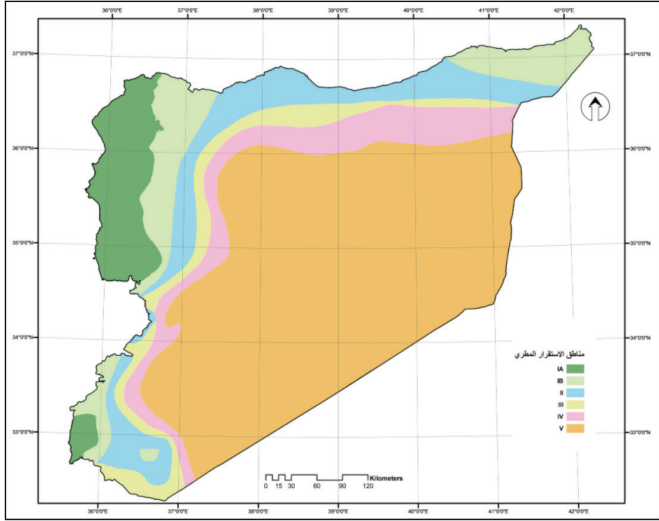
2-2 الصور الفضائية

تم استخدام الصور الفضائية التالية لمراقبة أطوار القمح:

- صور (MODIS) (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer): ذات تواتر زمني عالٍ (كل 8 أيام)، ودقة مكانية متوسطة (250م) لسلسلة زمنية لمواسم نمو من 2004 إلى 2016.
- صور (Meteo-M1): ذات دقة مكانية (42م) متعددة الأطياف/ متعددة المراحل لموسم نمو 2014.
- صور (Sentinel-2): ذات دقة مكانية (10م) متعددة الأطياف/ متعددة المراحل لموسم نمو 2016.

4-2 خريطة مناطق الاستقرار المطري

تم استخدام خريطة معدلات الهطول المطري السنوية للجمهورية العربية السورية (الشكل 2) المقسمة إلى خمس مناطق استقرار مطري، ويُراوح معدل الهطول المطري في كل منها كما يلي: منطقة الاستقرار الأولى (IA): أكثر من 600 ملم؛ منطقة الاستقرار الأولى (IB): 450-600 ملم؛ منطقة الاستقرار الثانية (II): 350-450 ملم؛ منطقة الاستقرار الثالثة (III): 250-350 ملم؛ منطقة الاستقرار الرابعة (IV): 150-250 ملم؛ منطقة الاستقرار الخامسة (V): أقل من 150 ملم.



الشكل 2. مناطق الاستقرار المطري الزراعي في سوريا.

- كما تم استخدام صور نموذج الارتفاع الرقمي (3D) نوع (SRTM) ذات دقة مكانية 30م.

3-2 البرمجيات المستخدمة

- تم تنفيذ المنهجية باستخدام برامج:
- برنامج نظام المعلومات الجغرافية (ArcGIS 9.3).
- برنامج (ERDAS IMAGINE 9.2) لتحليل الصور الفضائية.
- برنامج «التنبؤ بإنتاج القمح طيفياً» (Spectral Wheat Yield Prediction, SWYP) المصمم في بيئة برنامج معالجة الصور الفضائية (ERDAS IMAGINE) لملاءمته الظروف الزراعية السورية. وُئني هذا النموذج (SWYP) على تحليل قيم الانعكاس الطيفي المسجل حقلًا للقمح المزروع تحت نظم زراعية مختلفة (تمثل البيئة الزراعية تحت الظروف السورية) في علاقتها بالإنتاجية الفعلية، ثم إيجاد تلك المعادلات التي تستنبط الإنتاج من تلك القيم الطيفية تحت كل احتمالات الظروف الزراعية الموجودة. وتكون مدخلات النموذج صورًا فضائية (بقيم NDVI) خلال مرحلتي نمو أو أكثر (تمثل الأهمية في النمو والإنتاجية المحصولية)، ثم تحديد ثوابت عددية حسب منطقة الاستقرار المطري ونوع الصور الفضائية المستخدمة، لتكون المخرجات في أربع هيئات هي: الإنتاج الكلي، والمساحة الكلية، وخريطة الإنتاجية، وخريطة الإنتاجية في فئات تصنيفية.

5-2 مواقع حقول القمح الاختبارية

تم اختيار العديد من مواقع الحقول لتغطي جميع أنحاء سوريا وفق معايير موضحة في منهجية البحث لاحقًا، حيث يبين الشكل (3) مواقع بعض تلك الحقول.



3- منهجية البحث

1-3 المخطط النهجي للبحث

يبين الشكل (4) المخطط النهجي لسير مراحل مساهمة الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار نمو القمح وإدارة العملية الإنتاجية في سوريا، وفق الخطوات الأساسية التالية: 1. تم استخدام الصور الفضائية عالية التكرارية الزمنية لتحديد أنماط النمو النباتي، ثم بمقابلتها مع المخطط الطيفي لنمو القمح (المنضد ضمن قواعد البيانات)، وقد تم تحديد أماكن إمكانية زراعة القمح؛ 2. تم استخدام الصور الفضائية متعددة الأطياف عالية الدقة المكانية

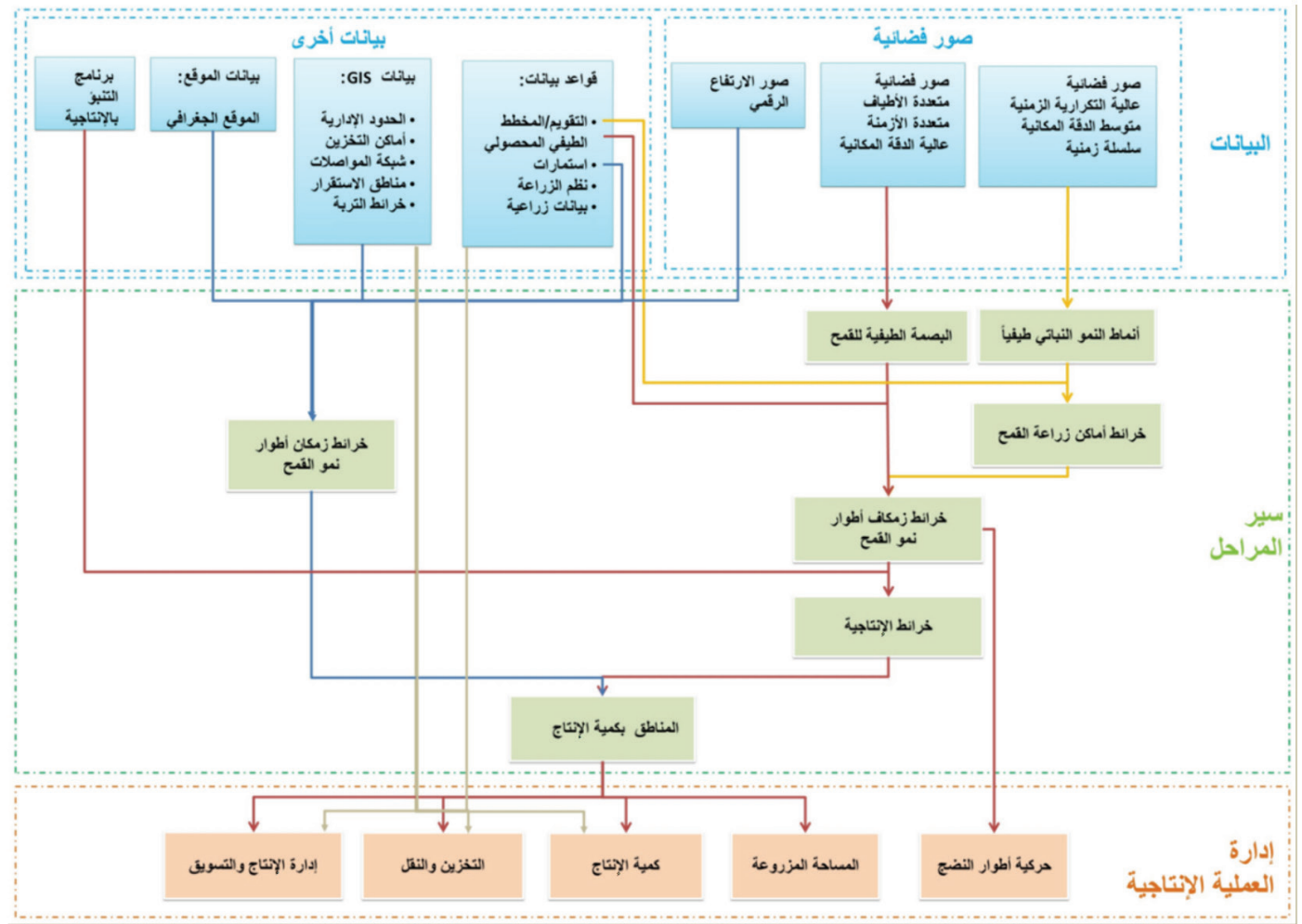
6-2 استمارة مراقبة أطوار نمو القمح حقلًا

تم إعداد استمارة مراقبة لتسجيل تاريخ حدوث الطور الفينولوجي لنباتات القمح في كل حقل من الحقول المختارة التي تمثل المنطقة المزروعة فيها. وقد بلغ عدد الحقول 105 حقول (3 حقول في كل موقع، ثم يؤخذ متوسطها عند تمثيلها للمنطقة)، وذلك بمتوسط مساحة الحقل الواحد من 0.8 هكتار في المرتفعات الجبلية إلى 8 هكتارات في المناطق السهلية، بمعدل إنتاج تراوح بين 1-4 أطنان/ هكتار حسب معدل التزود المائي.

الشكل 3. مواقع بعض الحقول في سوريا.

بمقابلة البصمة الطيفية لمحصول القمح في تحديد خرائط أطوار نمو القمح؛ 3. تم إدخال خرائط أطوار نمو القمح (بقيمتها الطيفية) في برنامج التنبؤ الطيفي بالإنتاجية لتقدير إنتاجية القمح في مناطق زراعته لكل نطاق جغرافي؛ 4. تم إدخال معايير متعددة تمثل مناطق نمو القمح في بيئات جغرافية مختلفة (تباين الهطول الموسمي للأمطار، الارتفاع عن سطح البحر، نظام الري ... إلخ) كنقاط تحقق حقلية يسجل فيها وجود أطوار نمو المحصول

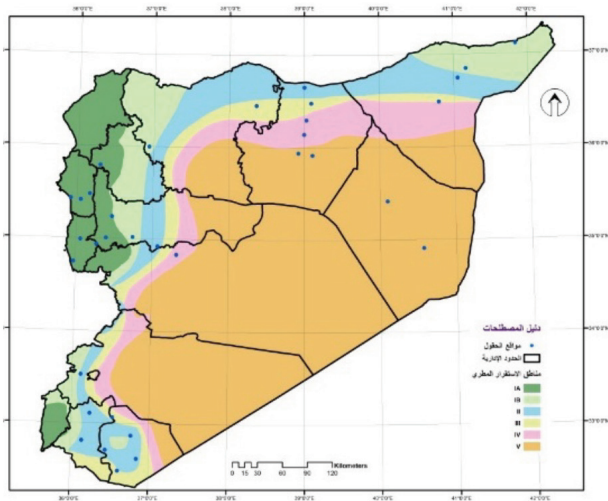
مع الإنتاجية، معبرة بذلك عن كافة ظروف إنتاج القمح في البلاد؛ 5. تم من خلال خرائط مراقبة أطوار النمو تحديد حركية خرائط النمو وتقدير الإنتاجية في تحديد التوقيت والمناطق التي يتحقق فيها طور النضج اللبني - الشمعي من أجل رسم حركية توقيت الحصاد؛ 6. تم من خلال حركية خرائط النمو وتقدير الإنتاجية من تحديد كمية الإنتاج وربطها مكانياً بحجم التخزين في الصوامع الموجودة في مناطق الإنتاج وتلك الموجودة قرب مناطق الاستهلاك.



الشكل 4. المخطط النهجي لمراحل مساهمة الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار نمو القمح وإدارة العملية الإنتاجية.

ويبين الشكل (5) مخطط مراحل نشاط إنتاج القمح بمراحله الثلاث الأساسية: عمليات ما قبل الإنتاج، ومراحل الإنتاج، وعمليات ما بعد الإنتاج؛ لبيان مساهمة الاستشعار عن بعد في أي مرحلة منها مع التقنيات الأخرى.

حيث يوضح الشكل أي المراحل والعمليات التي يمكن تنفيذها بتلك التقنية التي تخدم عملية إدارة الإنتاج.

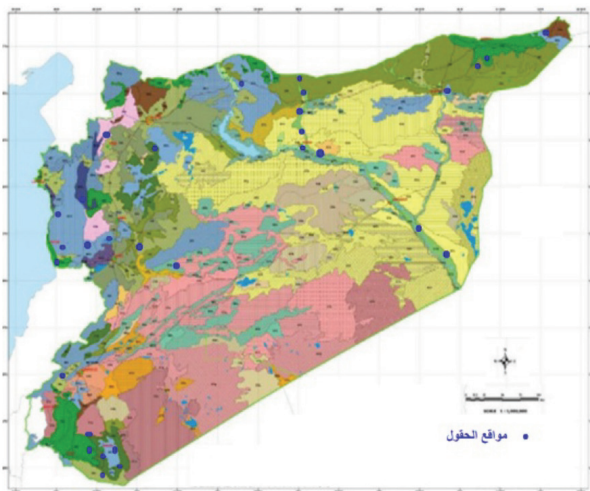


الشكل 7. مواقع توزع الحبوب ضمن مناطق الاستقرار المطري.

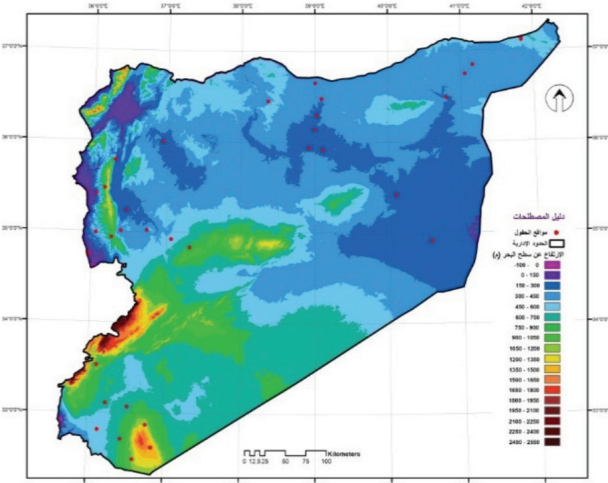


الشكل 5. مخطط مراحل نشاط إنتاج القمح ومساهمة الاستشعار عن بعد.

- التربة: كما تم مراعاة اختيار تنوع التربة بالاستعانة بخريطة التربة المصنفة من قبل (ICARDA) (الشكل 8).
- الطبوغرافيا: وُزعت المواقع لتشمل كافة الارتفاعات التضاريسية في سوريا وفق نموذج الارتفاع الرقمي (الشكل 9).



الشكل 8. مواقع توزع الحبوب ضمن مناطق الاستقرار المطري.

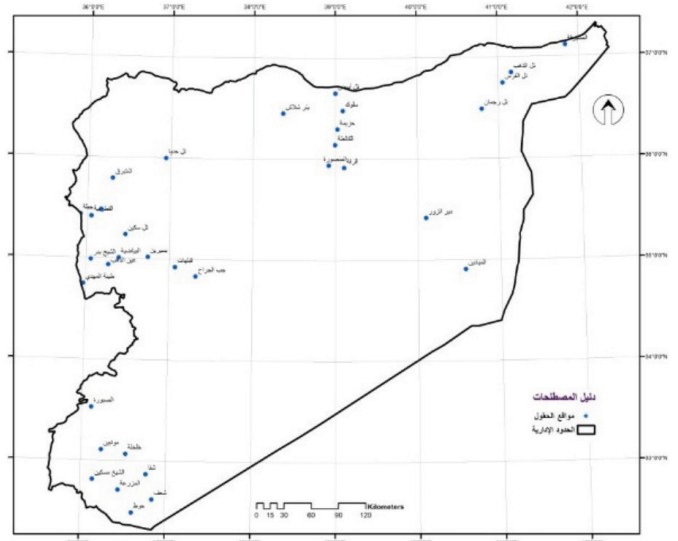


الشكل 9. مواقع توزع الحبوب وفق نموذج الارتفاع الرقمي.

2-3 معايير اختيار وتوزيع حقول القمح

تم اختيار توزيع حقول مراقبة أطوار نمو القمح لتشمل عوامل التباين الفعلية الكلية الموجودة على مستوى سوريا وفق الأسس التالية:

- النطاقات الجغرافية لخطي الطول والعرض: تقع أراضي الجمهورية العربية السورية ضمن خطي طول 37°35' و 42°23'، وخطي عرض 19°32' و 20°37'، مما يتيح تبايناً جغرافياً لمناطق زراعة القمح يستلزم معه توزيع النقاط الحقلية الاختبارية لتشمل تلك المناطق التي يُزرع بها القمح (الشكل 6).
- مناطق الاستقرار المطري (النطاقات المناخية الرئيسية): تم توزيع نقاط الحقول بما يتماثل مع مناطق استقرار الهطول المطري السنوية المصنفة وفق الظروف المناخية للجمهورية العربية السورية، والتي تؤثر في أطوار النمو (الشكل 7).



الشكل 6. مواقع التوزيع الجغرافي لحقول القمح.

- **نظم الزراعة:** يزرع القمح في سوريا تحت نظامي زراعة أحدهما مروي (أيًا كان أسلوب الري) والآخر مطري، لذا تم توزيع الحقول ليشمل كلا النظامين.
- **مساحة الحقول:** تمت مراعاة اختيار حقول بمساحات كبيرة، قدر الإمكان، لتكون واضحة التمييز ويتم تتبعها على الصور الفضائية.

الجدول 1. عدد وتوزيع الحقول حسب معايير الاختيار.

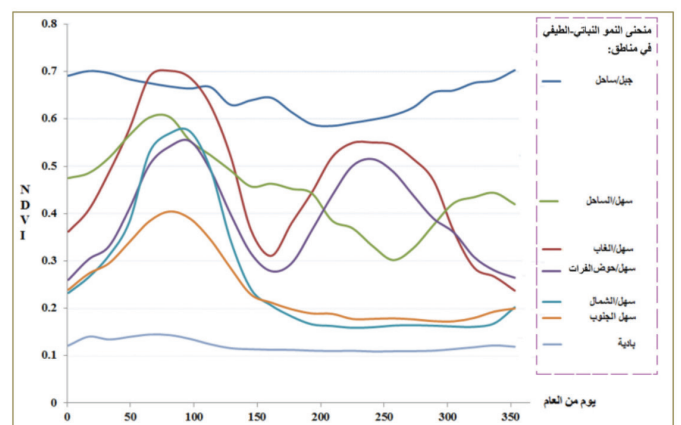
المعيار	مناطق الاستقرار المطري					الطوبوغرافيا (الارتفاع عن سطح البحر/ متر)					نظام الزراعة		المساحة/ هكتار
	1	2	3	4	5	300-1	600-300	900-600	1200-900	1500-1200	مروي	مطري	
العدد	39	27	15	12	12	24	42	18	15	6	33	72	105
الكلية	105					105					105		105

4- النتائج والمناقشة

1-4 أماكن زراعة القمح من الصور الفضائية في سوريا

1-1-4 السلسلة الزمنية للبصمة الطيفية للنظم الزراعية والبيئية الرئيسية من الصور الفضائية في سوريا

تمت دراسة سلسلة زمنية للقيم الطيفية المكانية من الصور الفضائية الأسبوعية (كل 8 أيام) لمدة 12 عامًا (2004-2016) على كافة أنحاء سوريا، بهدف إظهار تأثير الزمن بوصفه عاملاً ضمنياً لكافة احتمالات ظروف زراعة ونمو القمح ضمن بيئات نباتية - أرضية مختلفة. وقد تم تحليلها وتجميع الأنماط الرياضية لصيغ النمو المتماثلة للوصول إلى نماذج تُعبّر عن أهم صيغ النمو النباتي لكل منطقة؛ ومن ثم تحديد المناطق التي يمكن أن تسهم في إنتاجية الكتلة الحية النباتية وفق الدرجات الملائمة حسب موقعها لإمكانية نمو القمح. وبين الشكل (10) أنماط صيغ النمو النباتي وفق قيم الدليل النباتي (NDVI) المسجلة على مدار العام كمتوسط سلسلة زمنية متتالية (2004-2016) من صور (MODIS) في المناطق الرئيسية من سوريا، والتي يشتق منها أنماط المنحنيات للمناطق التي تتشابه مع المنحنى الطيفي لمناطق نمو القمح، مما يحدد معه المناطق التي يمكن أن تزرع قمحاً بإدخال عامل الزمن الذي يتضمن تأثير التغيرات المناخية.

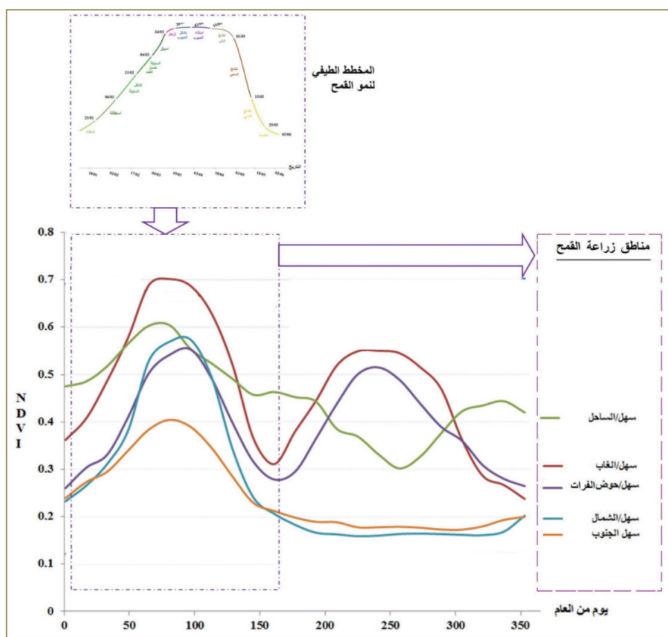


الشكل 10. أنماط النمو النباتي بـ (NDVI) الأسبوعية لمتوسط سلسلة زمنية (2004-2016) من الصور الفضائية للمناطق الرئيسية في سوريا.

- **التسلسل الزمني:** تعتمد مراقبة أطوار القمح على التسلسل الزمني في المراقبة (كل 8-16 يوماً) اعتباراً من الزراعة حتى الحصاد. ويُخصّص الجدول (1) بيان عدد الحقول حسب معايير اختيار وتوزيع الحقول.

1-4-2 احتمالية أماكن زراعة القمح من الصور الفضائية في سوريا

وفق مقارنة المخطط الطيفي لنمو القمح بالمخططات الطيفية الرئيسية للنمو النباتي - زمنياً وكقيم طيفية - فقد تمت تسمية وتحديد المناطق الملائمة لنمو القمح في المناطق الرئيسية من سوريا، كما في الشكل (11). حيث تعد أغلب المناطق السورية (باستثناء منطقة البادية) قابلة لزراعة القمح، وهي السهول الشمالية والجنوبية الساحلية مع حوض الفرات.

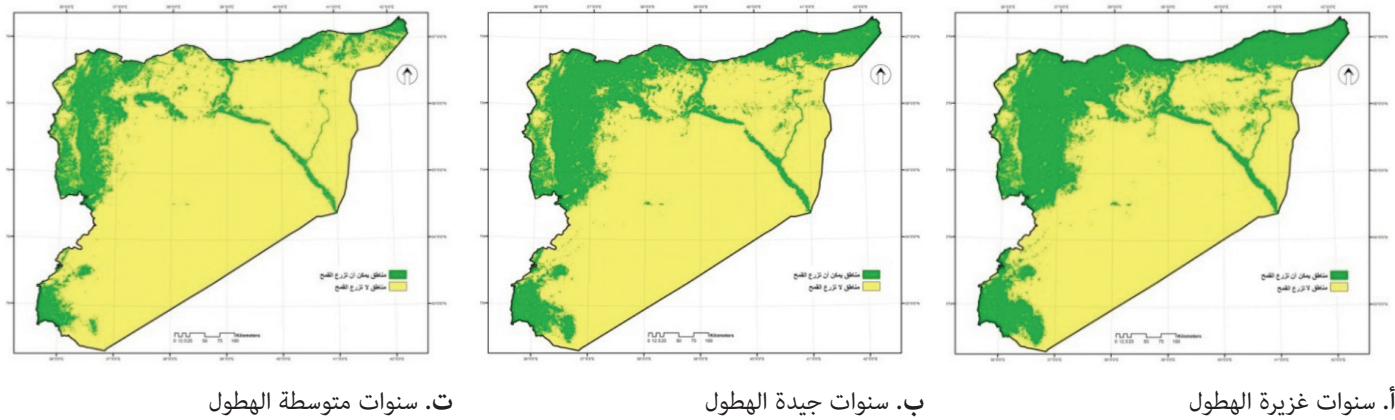


الشكل 11. تحديد المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً وفق المخطط الطيفي لنمو القمح في سوريا.

- واعتماداً على الأسس التالية في تحليل السلسلة الزمنية لصور (MODIS) لتحديد الحيز الجغرافي لتوزيع انتشار القمح في سوريا، وهي:
- إمكانية نمو القمح وفق البصمة الطيفية للقمح في سوريا المبين في الشكل (11).
- تغير وفرة الأمطار الهاطلة في تلك الأماكن التي يمكن أن ينمو القمح فيها من عام إلى آخر.
- مقارنة الآلية التطبيقية المعتمدة في توصية زراعة المحاصيل عند رسم مناطق الاستقرار المطري في سوريا.

وقد تم بناء ثلاث احتماليات لأماكن الانتشار الجغرافي لزراعة القمح في سوريا؛ باستثناء المناطق الحراجية التي يمكن فيها - نظرياً زراعة القمح - لكنها لا تُزرع بسبب الغطاء النباتي المستدام بالأشجار الحراجية، خاصة في المنطقة الساحلية، وفق الخرائط التالية (الشكل 12):

أ. المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً في السنوات الوفيرة مائياً (هطول مطري عالٍ): ثلاث سنوات من ثلاث سنوات (الشكل 12-أ).



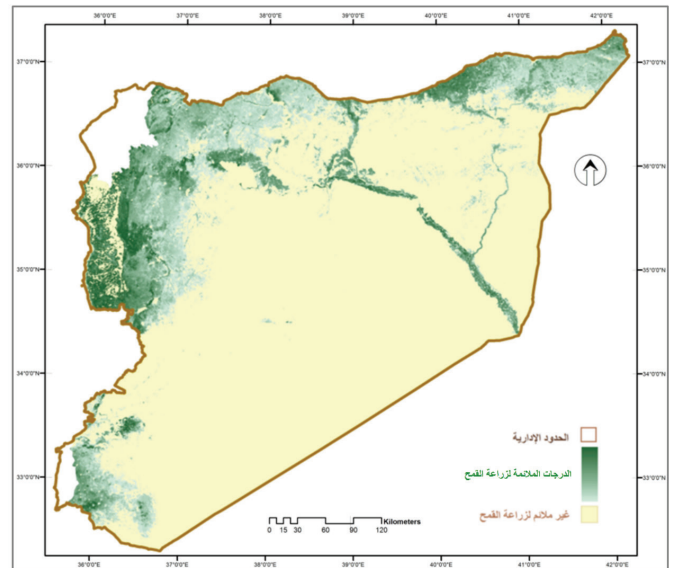
الشكل 12. الانتشار الجغرافي للمناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً حسب درجة وفرة الهطول المائي السنوي في سوريا.

2-4 البصمة الطيفية لنظم زراعة القمح في سوريا

1-2-4 أطوار القمح الفينولوجية وفق البصمة الطيفية خلال موسم النمو في سوريا

تم توقع أهم الأطوار الفينولوجية المسجلة للقمح: الزراعة والإنبات، البادرة، الإشتاء، الاستطالة، تشكّل السنبل، الإسبال، الإزهار، تشكّل الجيوب، امتلاء الحبة، النضج اللبني، النضج الشمعي، النضج الفني/ القاسي، والحصاد (الشكل 14) على منحنى النمو الطيفي للقمح (الشكل 15)،³⁰ والتي تم من خلالها تحديد تلك الأطوار المترافقة مع نقاط الانعطاف الحدية بقيم الانعكاس الطيفي التي من أهمها طور الإزهار وطور النضج اللبني خاصة في نهايته (الشكل 15) عن بقية الأطوار المسجلة، والتي تم تتبعها على الصور الفضائية في عملية الإدارة الإنتاجية.

وعند تحليل وتداخل الخرائط الثلاث السابقة (الشكل 12)، فقد تم إنتاج خريطة المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً وفق الدرجات الملائمة له في سوريا، كما في الشكل (13). وقد ترافقت الدرجات الملائمة حسب الوفر المائي أولاً، ودرجة خصوبة الأراضي.



الشكل 13. المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً وفق الدرجات الملائمة في سوريا.



الاستطالة



الإشطاء



البادرة



الإنبات



تشكل الحبوب



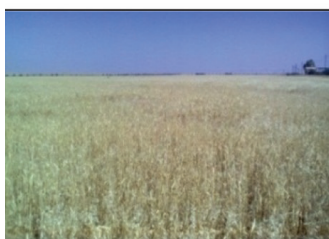
الإزهار



الإسبال



تشكل السنبل



النضج الفني



النضج الشمعي

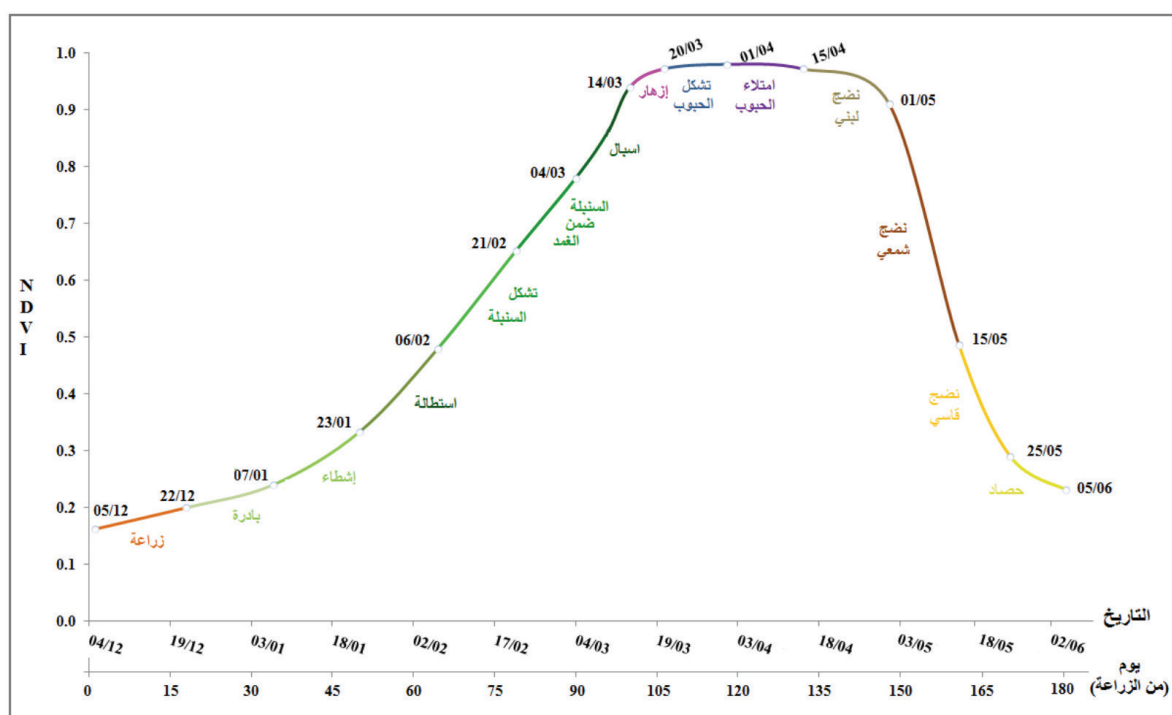


النضج اللبني

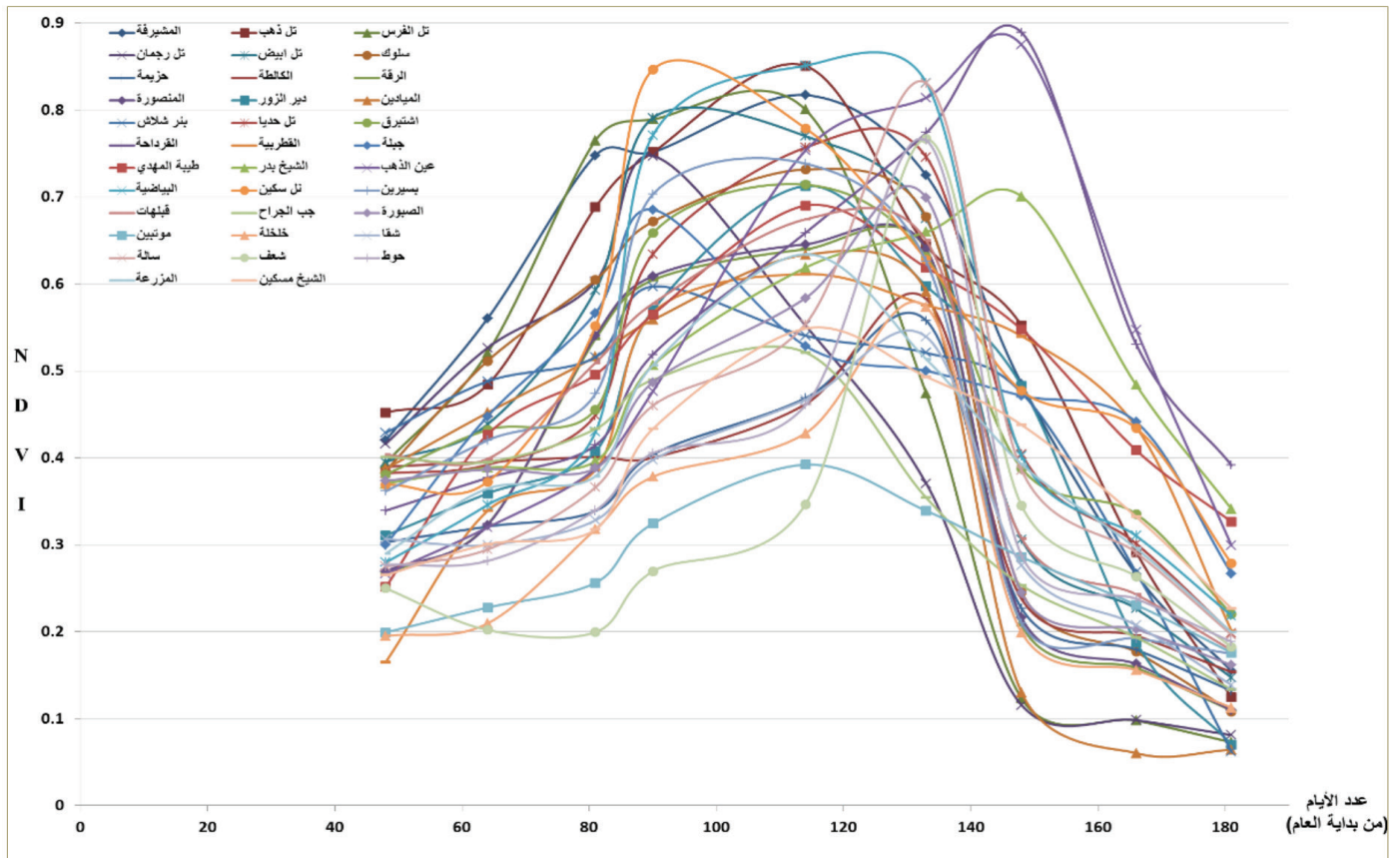


امتلاء الحبوب

الشكل 14. أطوار نمو القمح.



الشكل 15. البصمة الطيفية لأطوار نمو القمح في سوريا. 30



الشكل 16. قيم الدليل الطيفي النباتي (NDVI) من الصور الفضائية لحقول القمح الموزعة في أنحاء سوريا.

2-2-4 البصمة الطيفية (NDVI) للقمح من الصور الفضائية في سوريا

يبين الشكل (16) البصمة الطيفية وفق قيم الدليل النباتي (NDVI) من الصور الفضائية لجميع حقول القمح معاً والموزعة وفق معايير الاختيار المحددة سابقاً.

يتبين من الشكل (16) عند مقارنته بتوقع نموذج النمو الطيفي لأطوار القمح في سوريا (الشكل 15):

- أن هناك مدى واسعاً في تباين حدوث الأطوار الفينولوجية في التوقيت الواحد بين مناطق مختلفة في سوريا، فمثلاً بعد 90 يوماً من بداية العام (الأسبوع الأول من أبريل) نجد ظهور أكبر عدد من الأطوار (6 أطوار) في التوقيت نفسه، لكن بمناطق مختلفة (هذا على المستوى الرأسي؛ أي التوقيت) تبدأ من استطالة الساق، تشكل السنبل والسنبل في الغمد، الإنبال، الإزهار، تشكل الحبة، وبداية امتلاء الحبة.
- أن هناك تبايناً في توقيت حدوث الطور الواحد، فمثلاً نجد أن طور الإزهار قد يظهر من 90 إلى 130 يوماً من بداية العام (أي من منتصف مارس إلى الثلث الأخير من أبريل) في مناطق مختلفة في البلاد (هذا على المستوى الأفقي؛ أي حدوث الطور).
- ويعود ذلك إلى أحد العوامل المنضدة، أو أكثر، في منهجية اختيار الحقول؛ وخاصة إلى عوامل تضاريسية من ارتفاع وبعُد عن سطح البحر ثم إلى نظام الزراعة وإلى العوامل المناخية (أمطار وحرارة) في وجود ذاك التباين وبدرجة تالية إلى الخط الجغرافي وبقية العوامل من زراعية (كالأنصاف، وموعد زراعة، ومعاملات وتسميد وخدمة بعد الزراعة).
- تباين توقيت طور النضج اللبني - الشمعي من منطقة إلى أخرى في سوريا.

- وجود زمن فاصل فيما بين النضج اللبني - الشمعي حتى النضج التام وموعد الحصاد.
- يؤدي التوقيت المبكر إلى حدوث النضج اللبني - الشمعي إلى نضج تام مبكر أيضاً.

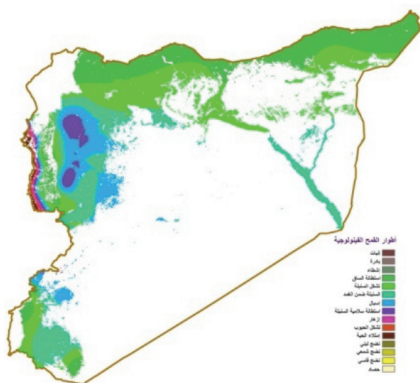
3-4 خرائط أطوار القمح في سوريا

1-3-4 خرائط الزمكان لأطوار القمح من البيانات الحقلية بنظم المعلومات الجغرافية في سوريا

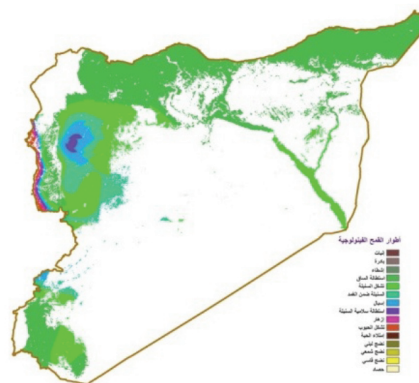
اعتماداً على البيانات المستمرة بنقاط المراقبة الحقلية لتقويم أطوار القمح في حقول التسجيل الموزعة؛ فإن الجدول (2) يوضح أن عدد الأطوار الفينولوجية المتزامنة قد بلغ 2-6 أطوار حسب المنطقة، حيث سُجل أقصاها أوائل أبريل على كافة الأراضي السورية، وفق عدد الأطوار الاثني عشر المسجلة لكامل حياة المحصول.

كما تم بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (2) التوصل إلى خرائط الزمكان لأطوار القمح على مستوى سوريا، بالاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية في عملية التحليل المكاني (spatial interpolation) أسبوعياً، اعتباراً من بداية العام حتى النضج والحصاد، حيث تم عرض خرائط التحليل المكاني اعتباراً من مارس فقط (لكفاية المعروض في عملية الاستدلال وخفض حجم الخرائط المعروضة في البحث) في الشكل (17). إذ سيتم استخدام بياناتها في توثيق الخرائط المستنبطة من البيانات الطيفية والفضائية.

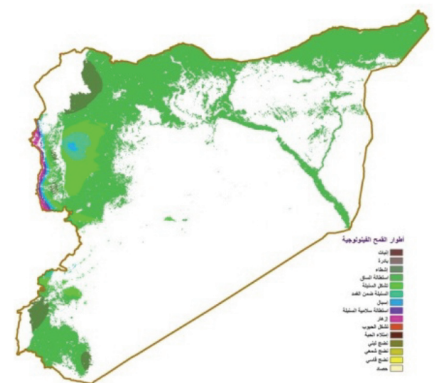
الجدول 2. تقويم أطوار القمح في موسم 2014 المسجلة في المواقع المختارة من سوريا.

[illegible]

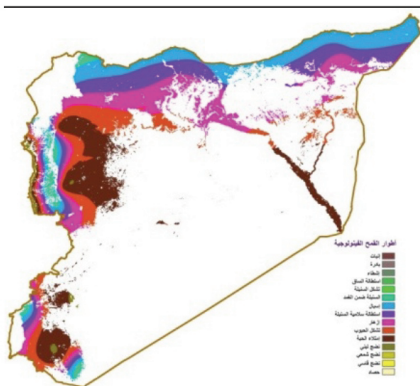
الأسبوع الثالث من مارس



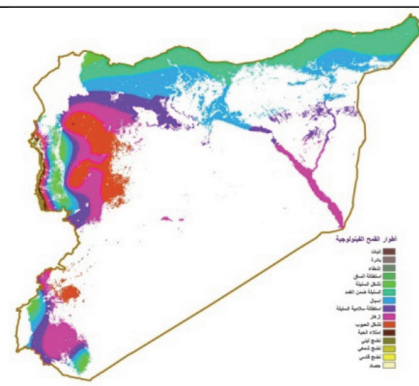
الأسبوع الثاني من مارس



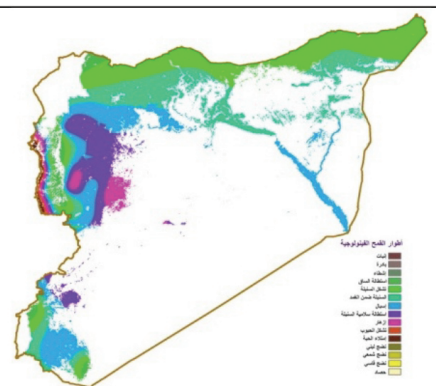
الأسبوع الأول من مارس



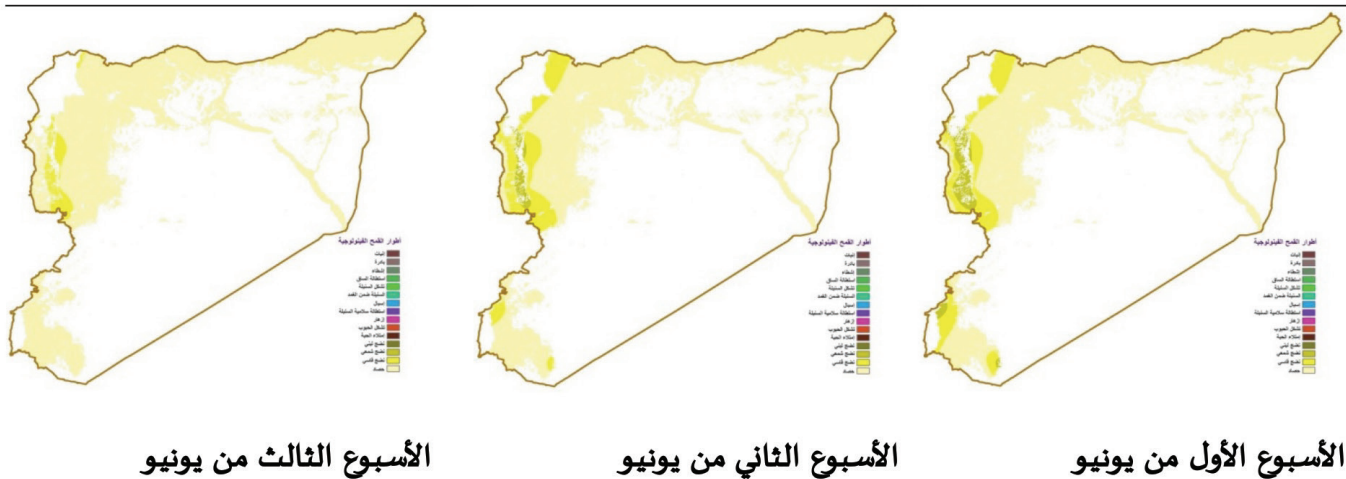
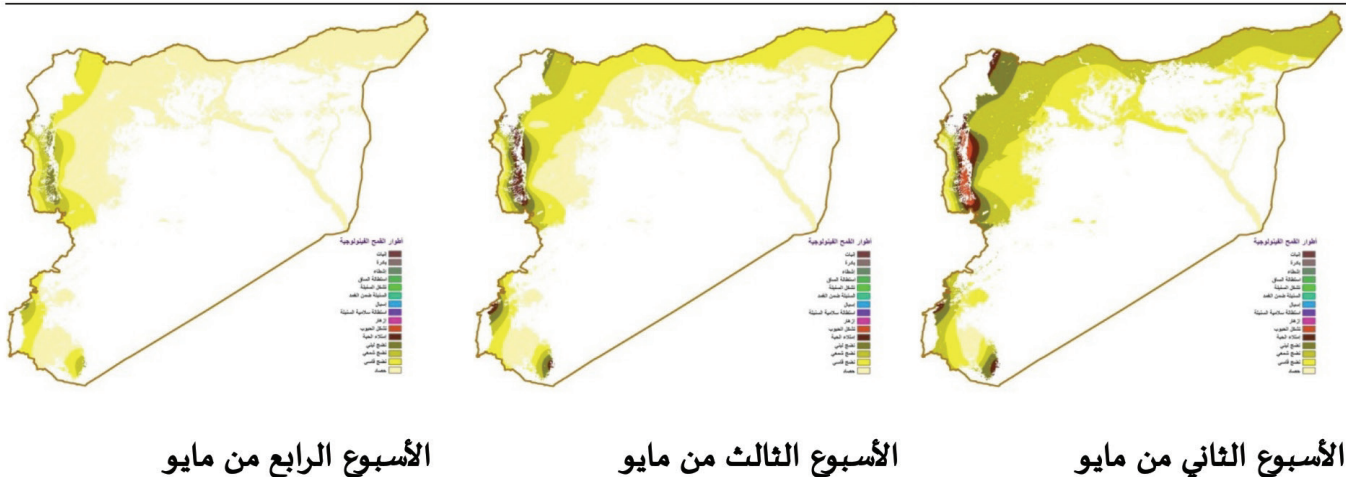
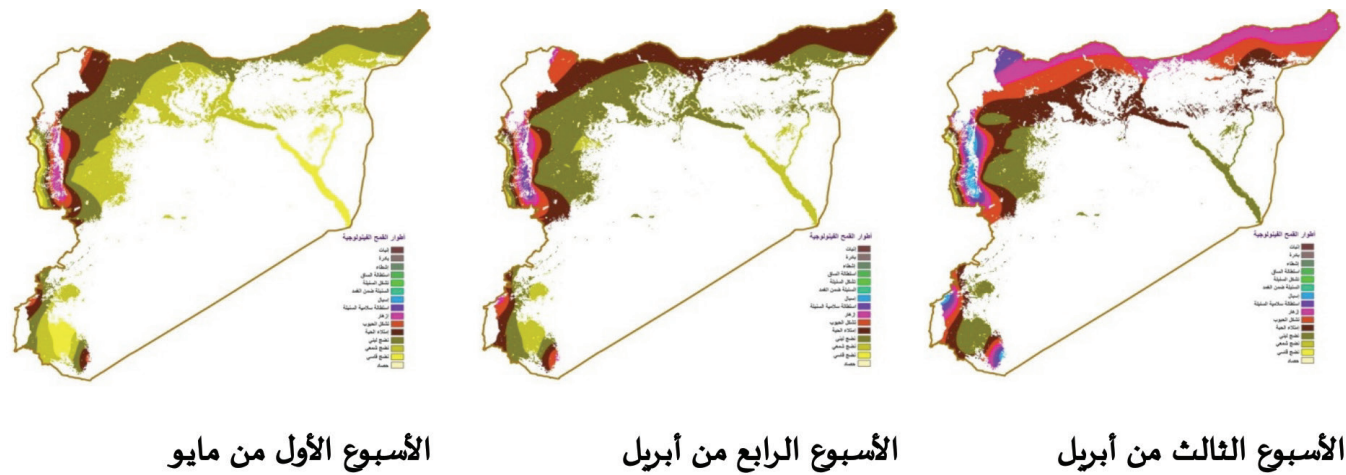
الأسبوع الثاني من أبريل



الأسبوع الأول من أبريل



الأسبوع الرابع من مارس



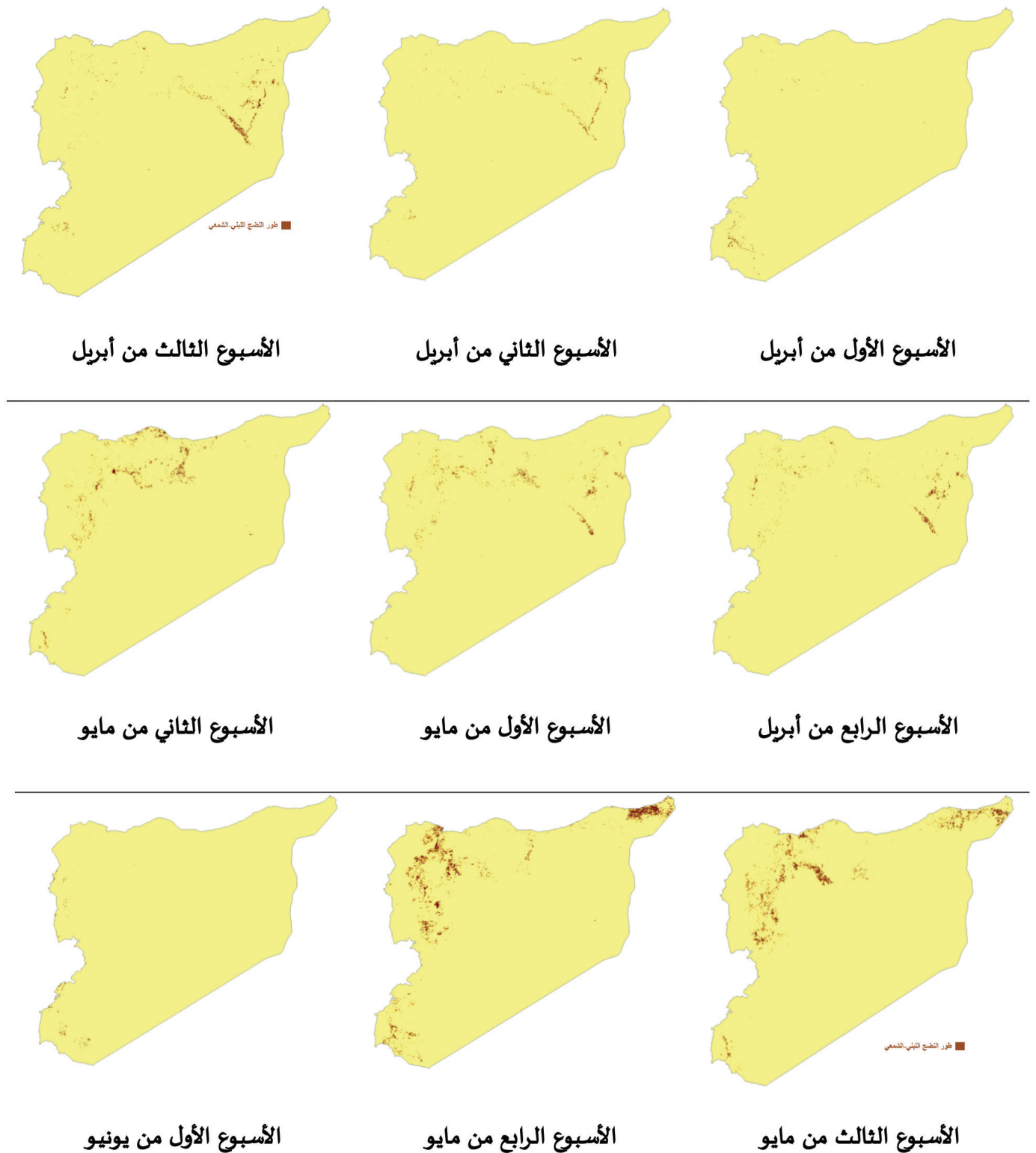
الشكل 17. خرائط الزمكان لأطوار القمح بالتحليل المكاني المحلي في موسم 2014 في سوريا.

4-3-2 خرائط الزمكان لطور النضج اللبني - الشمعي للقمح من الصور الفضائية في سوريا

- بناءً على:
- الأسس المستنبطة في مراقبة الأطوار الفينولوجية طيفياً حسب العوامل المهندسة في المنهجية التي تحيط بجغرافية نمو القمح على كامل الأراضي السورية، واعتباراً من المستوى الطيفي المحلي حتى الصور الفضائية.
- الاستعانة بنقاط المراقبة الحقلية لأطوار القمح الفينولوجية في حقول التسجيل الموزعة.
- مطابقتها على تاريخ التقاط الصور الفضائية.
- اعتماد أن الأساس هو رصد نهاية طور النضج اللبني وبداية طور النضج الشمعي طيفياً على الصور الفضائية؛ أي بداية دخول محصول القمح في أطوار النضج المختلفة من اللبني إلى الشمعي، وذلك قبل عملية الحصاد بفترة جيدة نسبياً مقارنة بطول موسم النمو بدليل الموقع الجغرافي.

تم التوصل إلى خرائط الزمكاف لأطوار النضج اللبني - الشمعي للقمح على مستوى سوريا من بيانات الصور الفضائية حسب التكرارية الزمنية (التي تم توثيقها ببيانات الاستمارات الحقلية في صورة خرائط التحليل المكاني في

الفقرة السابقة). ويبين الشكل (18) خرائط الزمكاف لأطوار النضج اللبني - الشمعي للقمح من بيانات الصور الفضائية في موسم 2014 على مستوى سوريا.



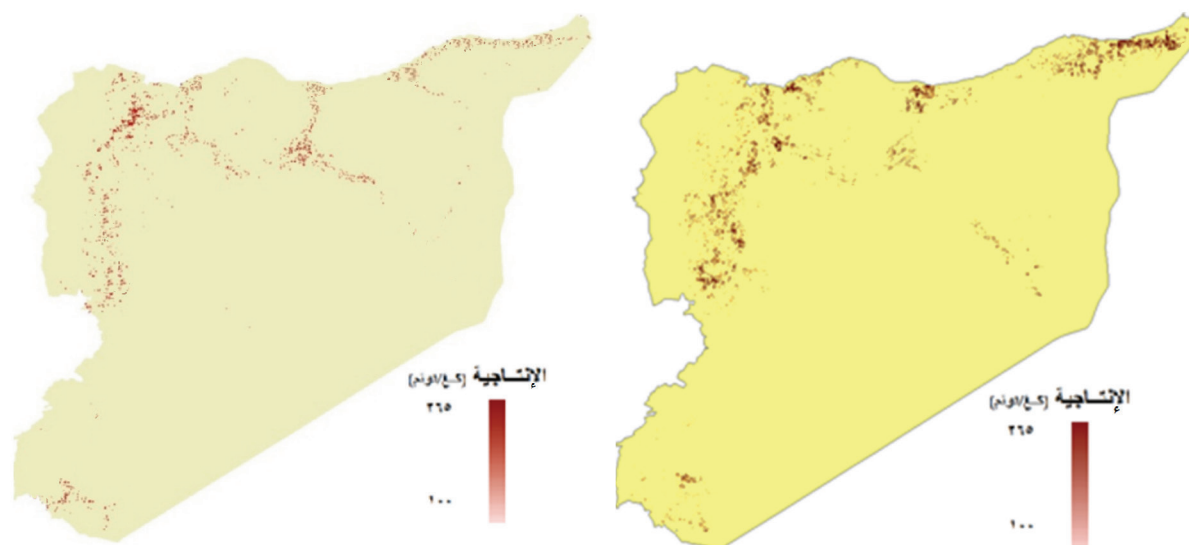
الشكل 18. خرائط الزمكاف لطور النضج اللبني - الشمعي للقمح في سوريا من بيانات الصور الفضائية في موسم 2014.

(SWYP) على بيانات خرائط الزمكاف (الشكل 18)، كما يبين الشكل (19) التوزع الجغرافي لإنتاجية القمح المقدرة في موسمي 2014 و2016 من بيانات الصور الفضائية في سوريا.

يبين الجدول (3) البيانات الإحصائية الرقمية للصور الفضائية التي أدت إلى رسم توزع تلك الخرائط الفينولوجية، حيث تم تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية باستخدام نموذج «التنبؤ بإنتاج القمح طيفياً»

الجدول 3. مساحة وإنتاج القمح حسب توقيت طور النضج اللبني - الشمعي في موسمي 2014 و2016.

طور النضج اللبني - الشمعي	2014		2016	
	المساحة المقدرة (هكتار)	الإنتاج المتوقع (طن)	المساحة المقدرة (هكتار)	الإنتاج المتوقع (طن)
4/7-1	16752	5653	15077	5992
4/15-8	59818	25013	53836	26513
4/22-16	209808	238648	188827	252966
4/30-23	280908	515006	252817	545906
5/7-1	226366	473098	203729	501484
5/15-8	135300	242413	121770	256957
5/23-16	101048	187574	90943	198828
5/31-24	55342	73054	49808	77437
6/7-1	38628	48925	34765	51861



موسم 2016

موسم 2014

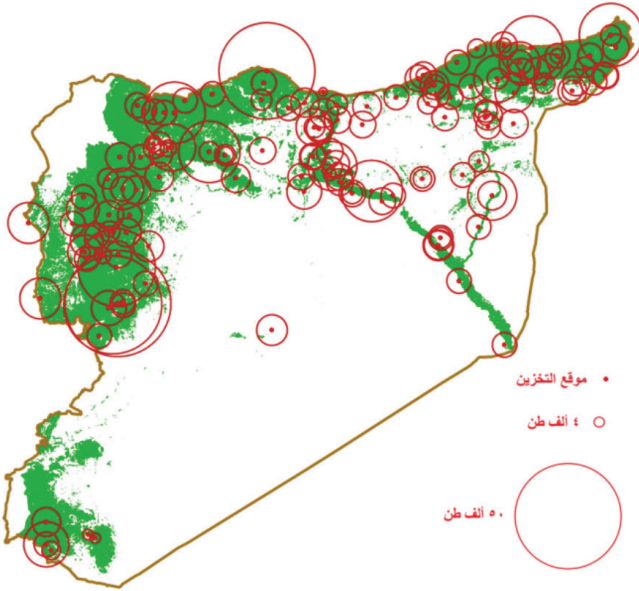
الشكل 19. خريطة إنتاجية القمح من بيانات الصور الفضائية موسمي 2014 و2016 في سوريا.

بلغ 36 صومعة ذات طاقة تخزينية تصل إلى 2.249 مليون طن. في حين يبين الشكل (-20ب) أماكن وجود صوامع التخزين ذات السعة التخزينية لـ 50 ألف طن إلى أقل من ذلك، وهي عبارة عن صوامع معدنية ومستودعات تخزين أو بالأكياس المغطاة أحياناً بعدد أماكن بلغ 161 موقعاً ذات طاقة تخزينية لحوالي 3.985 ملايين طن.

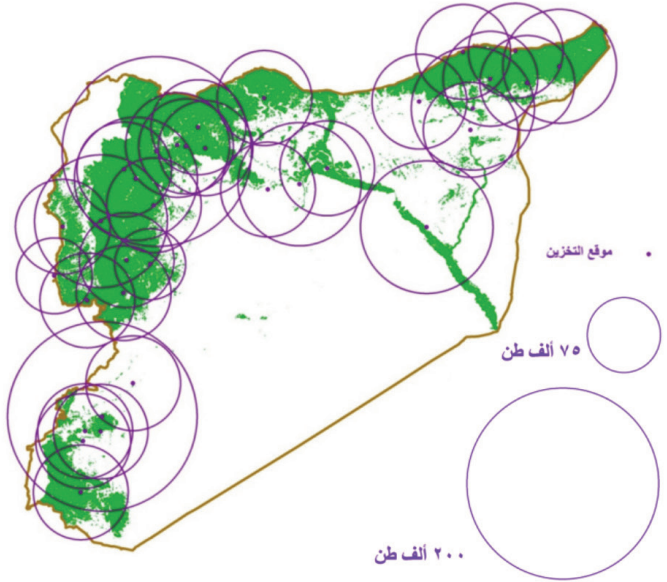
حيث يُمكن هذا التقدير الرقمي الكمي المكاني لحجم الإنتاج وتوقيته خلال أطوار النضج من تحديد الأرقام الإحصائية الإنتاجية ومكان صدورها في عملية إدارة الإنتاج.

4-5 أماكن وحجم تخزين القمح

يبين الشكل (-20أ) أماكن وجود صوامع تخزين الحبوب في سوريا ذات السعة التخزينية لـ 75 ألف طن فأكثر، وهي عبارة عن صوامع إسمنتية بعدد



ب. أماكن تخزين الحبوب ذات السعة التخزينية لـ 50 ألف طن فأقل.



أ. صوامع الحبوب ذات السعة التخزينية لـ 75 ألف طن فأكثر.

الشكل 20. خرائط انتشار صوامع وأماكن تخزين الحبوب في سوريا.

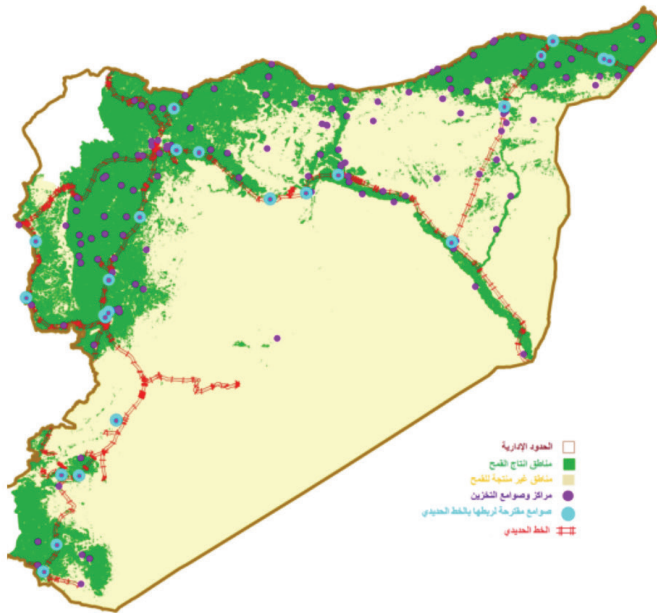
- التركيز على وجود صوامع الحجم التخزيني الكبير بشكل مناسب حول التجمعات السكانية الكبيرة كدمشق، من دون وجود صوامع الحجم التخزيني المتوسط؛ لعدم وجود مناطق إنتاج حولها.

4-6 شبكة المواصلات وأماكن التخزين مقابل مناطق إنتاج القمح

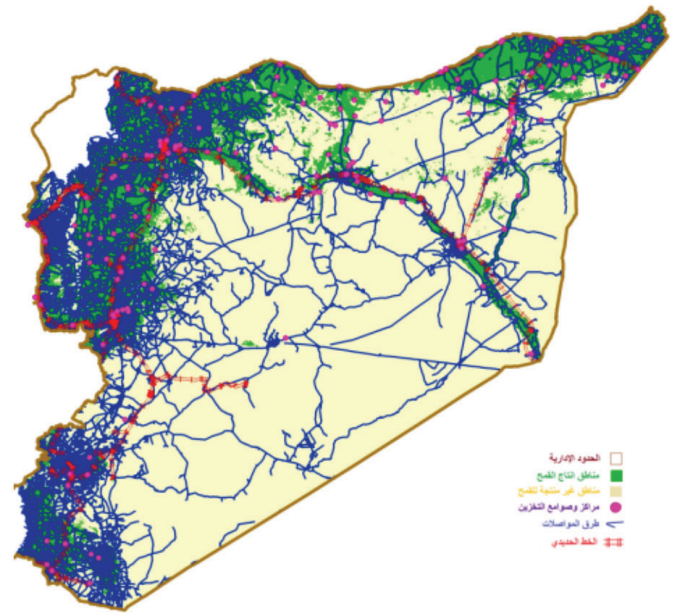
يبين الشكل (21) شبكة طرق المواصلات والخطوط الحديدية مع أماكن تخزين الحبوب في مناطق إنتاج القمح وغيرها في سوريا، بما يسمح بدراسة ومعرفة درجة العلاقة ومدى الخدمة المنفذة في مناطق الإنتاج، ومع مراكز الاستلام، إلى مناطق الاستهلاك. ويتضح أن شبكة المواصلات تخدم مناطق الإنتاج ومراكز التخزين بسويات مختلفة؛ من طرق رئيسة إلى فرعية، بما يؤثر في الحمولات الحبيبة المنقولة ومدى استلامها المباشر ومكوئها، وبما يؤثر أيضاً في كمية الفاقد خلال عملية النقل خاصة، حسب طبيعة وسيلة النقل ودرجة ملاءمتها.

يتضح من الشكل (22) أيضاً درجة تخدم الخطوط الحديدية لمناطق الإنتاج، والتي يجب أن تشترك بنسب أعلى مع طرق المواصلات في عملية نقل المنتج إلى مناطق الاستهلاك، ولا سيما أن طرق النقل بالخطوط الحديدية تقلل مقدار الفقد إلى أكثر من النصف عن النقل بطرق المواصلات الطرقية.²⁹

- قارب الحجم التخزيني الكلي المنتشر في سوريا حوالي 6.234 ملايين طن، ويأخذ جزء منها، وخاصة التخزين في الصوامع الإسمنتية، صفة التخزين الاستراتيجي لعدة سنوات، وليس التخزين المباشر من حقول الإنتاج.
- قد لا تفي الطاقة التخزينية المتبقية (3.985 ملايين طن) لتخزين الإنتاج السنوي المقدّر حقلًا مباشرة (خاصة السنوات الوفيرة)، مما يضطر معه إلى التخزين بالأكياس المغطاة بجانب المستودعات والصوامع.
- لذا، لا بد من زيادة الحجم الصومعي ذي الاستيعاب التخزيني في الفئة الأقل من 75 ألف طن بالقرب من حقول الإنتاج مع زيادة الحجم التخزيني الصومعي المستدام ذي الصفة الاستراتيجية (100 ألف طن فأكثر) بالقرب من أماكن التصنيع والاستهلاك حول التجمعات السكانية والمدن الكبرى.
- لوحظ غياب الصوامع ذات الحجم التخزيني الكبير حول العديد من المناطق ذات الكثافة السكانية العالية كطرطوس، واللاذقية، ودرعا، والقنيطرة والسويداء (إن وجد في بعضها واحدة، فهي مخصصة للتصدير) وذلك مرتبط بحجم الإنتاج في تلك المحافظات.
- بينما لوحظ عدم كفاية الصوامع ذات الحجم التخزيني الكبير حول التجمعات السكانية الأخرى، كدير الزور والرقّة وإدلب، رغم حجم الإنتاج الكبير في هذه المحافظات.



الشكل 22. خريطة أماكن تخزين الحبوب التي يمكن أن تنقل بالقطار في سوريا.

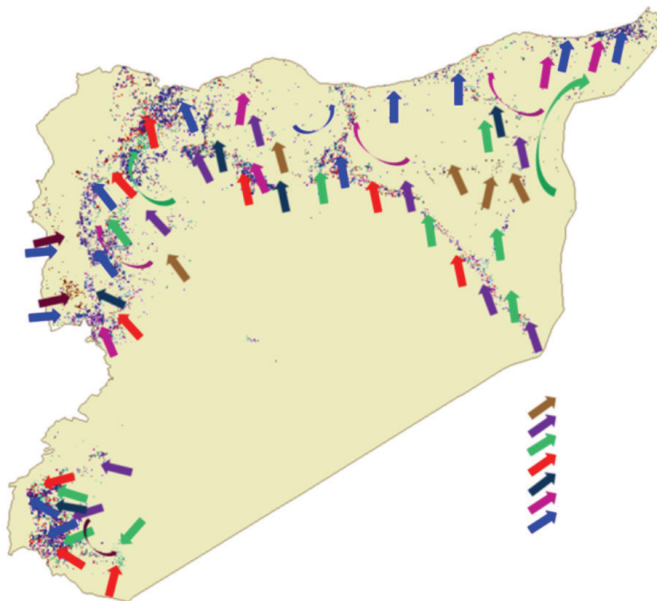


الشكل 21. شبكة طرق المواصلات والخطوط الحديدية مع أماكن تخزين الحبوب في مناطق إنتاج القمح في سوريا.

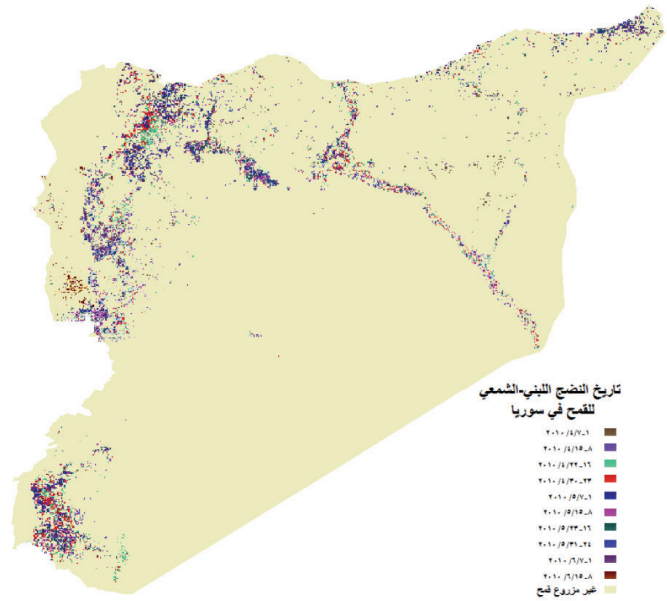
4-7 التخطيط والإدارة للعملية الإنتاجية

يوضح تحليل خرائط النضج اللبني - الشمعي للقمح (الشكل 18) على المستوى التجميعي، من ناحية تغيرات توقيت النضج الفينولوجي (الشكل 23)، وحركية توزيعه وانتشاره الجغرافي على مستوى البلاد (الشكل 24). وبناءً على كل من التحليل الزمني والمكاني للبصمة الطيفية لخرائط النضج اللبني - الشمعي للقمح (الشكلان 23 و 24) مع الرقم الإحصائي للمساحة والإنتاج (الجدول 3) يمكن بيان ما يلي:

يُبين التحليل المكاني للبيانات المنضدة في الشكل (22) أن هناك مراكز تخزين صومعية تقع بجانب الخطوط الحديدية لكنها غير مخدمة بعملية النقل بالقطار من مناطق الإنتاج إلى الاستهلاك، حيث تُراوح المسافة بين بعض الصوامع الموجودة والخطوط الحديدية القريبة من عدة مئات أمتار إلى حوالي 12 كيلومتراً؛ وبناءً عليه، يمكن اقتراح القيام بالنقل عبر القطارات من الصوامع القريبة، وذلك على مرحلتين: الأولى لمسافة تقل عن 3 كم وعددها 10 صوامع بحجم تخزيني يصل إلى مليون طن، ثم المرحلة الثانية لمسافة تصل إلى 12 كم وعددها 8 صوامع بحجم تخزيني يصل إلى مليون طن أيضاً. ويقدر ذاك التوفير بحوالي 0.16% من كمية الإنتاج المخزنة في مراكز التخزين فقط عند إجراء عملية النقل بالقطار لبعض مراكز الصوامع القريبة من خط القطار.



الشكل 24. مخطط حركية طور النضج اللبني-الشمعي للقمح في سوريا.



الشكل 23. خريطة تواريخ طور النضج اللبني-الشمعي للقمح في سوريا.

6- الخاتمة

تمت مراقبة حركية أطوار نمو القمح من البيانات الطيفية وفق علاقة الزمكاف (الزمان - مكان - طيف) بصور فضائية عالية الدقة المكانية (Sentinel-2)، من أجل تقدير إنتاجية القمح في إدارة العملية الإنتاجية لمحصول القمح على مستوى البلاد. وُجد أن أعداد الأطوار الفينولوجية المسجلة بتوقيت واحد في كافة أنحاء البلاد متباينة، وذلك لاختلاف المكان الجغرافي و/أو الطوبوغرافي و/أو نظم الزراعة؛ ووصل عدد هذه الأطوار إلى ستة مع بداية أبريل. وقد تم تحديد توقيت النضج اللبني - الشمعي طيفياً لكل نطاق جغرافي لكافة أنحاء البلاد، ثم تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية وفق مسارات النضج تلك خلال موسمي 2014 و2016. ويوصى بضرورة تقدير كمية الإنتاج مبكراً، وتنظيم عمليات الحصاد وفق مسارات النضج، مع ضرورة زيادة حجم الاستيعاب التخزين المباشر بالقرب من مناطق الإنتاج، والاهتمام بتأمين نقله بوسائل نقل متقدمة تقلل من كمية الفقد وصولاً إلى أماكن التخزين الاستراتيجي، ومواكبة زيادة حجمها وعددها في مناطق الاستهلاك وخاصة تلك التي لا يوجد بها مواقع تخزين كبعض المدن الكبرى.

شكر

كل الشكر للهيئة العليا للبحث العلمي على تمويل هذا البحث ضمن مشروع «تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار القمح الفينولوجية لإدارة العملية الإنتاجية في سوريا» والمنفذ بالتعاون بين الهيئة العليا للبحث العلمي والهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

المراجع

- 1 المنظمة العربية للتنمية الزراعية. الكتاب السنوي للإحصاءات الزراعية العربية. 2016؛ مجلد 36. الخرطوم، السودان. <http://www.aoad.org/statbook36.pdf>
- 2 المجموعات الاحصائية الزراعية، 2002-2016. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سوريا.
3. Sakamoto T, Yokozawa M, Toritani H, Shibayama M, Ishitsuka N, Ohno H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. Remote Sens Environ [Internet]. 2005 Jun 30;96(3-4):366-74. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425705001057>
4. Huang J, Ma H, Su W, Zhang X, Huang Y, Fan J, et al. Jointly Assimilating MODIS LAI and ET Products Into the SWAP Model for Winter Wheat Yield Estimation. IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens [Internet]. 2015 Aug;8(8):4060-71. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7063257/>
5. Onojeghuo AO, Blackburn GA, Wang Q, Atkinson PM, Kindred D, Miao Y. Rice crop phenology mapping at high spatial and temporal resolution using downscaled MODIS time-series. GIScience Remote Sens [Internet]. 2018 Sep 3;55(5):659-77. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15481603.2018.1423725>
6. Peng D, Huete AR, Huang J, Wang F, Sun H. Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data. Int J Appl Earth Obs Geoinf [Internet]. 2011 Feb;13(1):13-23. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243410000656>

- يترافق نضج القمح المبكر مع مناطق الزراعة البعلية، وخاصة بالتقارب مع انتشار مناطق الاستقرار الثانية والثالثة في مساحات متفرقة وغير مركزة في نطاق محدد خلال النصف الثاني من أبريل.
- يبدأ تتابع النضج الزمني كسمة مميزة لفترات متقاربة في داخل البلاد اعتباراً من الجنوب في اتجاه الشمال ومن المناطق السهلية في اتجاه الجبلية.
- تداخل بعض المناطق فيما بين أطوار النضج المختلفة الناتجة من الاختلاف في موعد الزراعة، الذي وإن اختلف لا يخرجها عن السمة العامة لتوقيت الحصاد في تلك المنطقة، علماً أن هذا الاختلاف الطفيف في المنطقة الواحدة مهم جداً ومفيد في خدمة العملية الإنتاجية، لإمكانية تتالي عملية الحصاد من قبل الحصادات (والعمالة مع وسائل الخدمة المرافقة) فيما بين الحقول وتجنب فرط الحبوب على السنابل إذا ما نضجت وتأخرت عملية الحصاد عن موعدها.
- تكون آخر أماكن يُسجل فيها النضج في المناطق الجبلية المرتفعة ذات المساحات القليلة، وعلى نحو يصعب فيها استخدام الآلات الكبيرة التي تستخدم في المساحات الواسعة.
- ومن ثم، تُمكن الخرائط الموضوعة في الأشكال (19-24) مع الجدول (3) في عملية إدارة العملية الإنتاجية من:
 - تقدير مساحة وإنتاج القمح في مراحل النضج المبكر لكل منطقة.
 - توجيه عملية الحصاد في حينها بقدر مساحة وطاقة الإنتاج إلى المناطق ذات النضج المبكر، ثم تتبعها لمسار النضج - كما تحدده خرائط التطور الفينولوجي والنضج - في عملية الحصاد والتسويق والتخزين.
 - تجهيز وسائل النقل المناسبة في أماكن الإنتاج بموعدها.
 - تجهيز الصوامع بالطاقة التخزينية الكافية لاستيعاب حجم الإنتاج المتوقع، آخذين في الحسبان وجود كمية مخزنة فائضة من عام سابق من عدمه؛ لحساب الكم الممكن استيعابه.
 - تحديد المناطق التي تدخل في مرحلة الحصاد معاً للتنسيق الأمثل فيما بينها، وتحديد توجيه عملية الحصاد إلى المناطق ذات الأولوية من حيث درجة الضرر والفقد بعد النضج، وكذلك لتوجيه الإنتاج المحصود منها إلى أماكن التخزين المناسبة التي قد تكون متقاربة.

5- المقترحات

- حسبما تقرر في النتائج البحثية لإدارة العملية الإنتاجية للقمح في سوريا من خلال مراقبة الأطوار الفينولوجية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد؛ يُقترح ما يلي:
- مراقبة أطوار نمو القمح باستخدام الاستشعار عن بعد على مستوى البلاد، نظراً إلى تسجيل عدد كبير من أطوار النمو (الفينولوجية) المتباينة في التوقيت نفسه.
 - تحديد توقيت النضج اللبني - الشمعي بما يحدد معه توقيت الحصاد.
 - استخدام الاستشعار عن بعد في تتبع أماكن ومسار النضج الزمني لتوجيه عملية إدارة الإنتاج.
 - تقدير مساحة وإنتاج القمح في مراحل النضج المبكر لكل منطقة.
 - ضرورة زيادة الحجم الصومعي ذي الاستيعاب التخزيني في الفئة الأقل من 75 ألف طن بالقرب من حقول الإنتاج، مع زيادة الحجم التخزيني الصومعي المستدام ذي الصفة الاستراتيجية (100 ألف طن فأكثر) بالقرب من أماكن التصنيع والاستهلاك.
 - الاتجاه إلى رفع الطاقة التخزينية الدائمة بحالة الصوامع، وليس التخزين بطرق مرحلية لما يحصل من فقد كبير أثناء النقل والتخزين.

7. Araya S, Ostendorf B, Lyle G, Lewis M. Remote Sensing Derived Phenological Metrics to Assess the Spatio-Temporal Growth Variability in Cropping Fields. *Adv Remote Sens* [Internet]. 2017;06(03):212–28. Available from: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ars.2017.63016>
8. Huang Y, Lu L. Monitoring Winter Wheat Phenology Using Time Series of Remote Sensing Data. In: 2009 Second International Conference on Information and Computing Science [Internet]. IEEE; 2009. p. 135–8. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5169558/>
9. Yan F, Shi P, Wu J, Wang Y. Study on Phenology Character of Winter Wheat by Modis-Evi Data in Hebei China. In: IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium [Internet]. IEEE; 2008. p. I-327–I-330. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4778860/>
10. Zhang M, Fan J, Zhu X, Li G, Zhang Y. Monitoring winter-wheat phenology in North China using time-series MODIS EVI. In: Neale CMU, Maltese A, editors. 2009. p. 747227. Available from: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.829972>
11. Kalubarme MH, Potdar MB, Manjunath KR, Mahey RK, Siddhu SS. Growth profile based crop yield models: A case study of large area wheat yield modelling and its extendibility using atmospheric corrected NOAA AVHRR data. *Int J Remote Sens* [Internet]. 2003 Jan 26;24(10):2037–54. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160210156018>
12. Sehgal V.K.; D.R. Rajak; K.N. Chaudhary; V.K. Dadhwal. Improved Regional Yield Prediction by Crop Growth Monitoring System Using Remote Sensing Derived Crop Phenology. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2002; 34 (7): 329–334.
13. Huang J, Sedano F, Huang Y, Ma H, Li X, Liang S, et al. Assimilating a synthetic Kalman filter leaf area index series into the WOFOST model to improve regional winter wheat yield estimation. *Agric For Meteorol* [Internet]. 2016 Jan;216:188–202. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168192315007480>
14. Chen Y, Zhang Z, Tao F. Improving regional winter wheat yield estimation through assimilation of phenology and leaf area index from remote sensing data. *Eur J Agron* [Internet]. 2018 Nov;101:163–73. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030118305306>
15. Huang J, Ma H, Sedano F, Lewis P, Liang S, Wu Q, et al. Evaluation of regional estimates of winter wheat yield by assimilating three remotely sensed reflectance datasets into the coupled WOFOST–PROSAIL model. *Eur J Agron* [Internet]. 2019 Jan;102:1–13. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030118306300>
16. Skakun S, Vermote E, Franch B, Roger J-C, Kussul N, Ju J, et al. Winter Wheat Yield Assessment from Landsat 8 and Sentinel-2 Data: Incorporating Surface Reflectance, Through Phenological Fitting, into Regression Yield Models. *Remote Sens* [Internet]. 2019 Jul 27;11(15):1768. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/15/1768>
17. Nasrallah A, Baghdadi N, Mhawej M, Faour G, Darwish T, Belhouchette H, et al. A Novel Approach for Mapping Wheat Areas Using High Resolution Sentinel-2 Images. *Sensors* [Internet]. 2018 Jun 29;18(7):2089. Available from: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/7/2089>
18. Nasrallah A, Baghdadi N, El Hajj M, Darwish T, Belhouchette H, Faour G, et al. Sentinel-1 Data for Winter Wheat Phenology Monitoring and Mapping. *Remote Sens* [Internet]. 2019 Sep 25;11(19):2228. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/19/2228>
19. Zhang H, Du H, Zhang C, Zhang L. An automated early-season method to map winter wheat using time-series Sentinel-2 data: A case study of Shandong, China. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2021 Mar;182:105962. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105962>
20. Jaafar H, Mourad R. GYMEE: A Global Field-Scale Crop Yield and ET Mapper in Google Earth Engine Based on Landsat, Weather, and Soil Data. *Remote Sens* [Internet]. 2021 Feb 20;13(4):773. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/4/773>
21. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة. حالة الأمن الغذائي والتغذية في العالم: بناء القدرة على الصمود لتحقيق السلام والأمن الغذائي. 2017. روما، إيطاليا. <http://www.fao.org/publications/card/ar/c/I7695>
22. الجهوي، مصطفى سيد أحمد. الفاقد لأهم السلع الزراعية الغذائية في جمهورية مصر العربية، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، جامعة الدول العربية. 1995. الخرطوم، السودان.
23. المنظمة العربية للتنمية الزراعية. دراسة الفاقد الناتج عن الحصاد الآلي للحبوب (القمح) في الوطن العربي. 1992. الخرطوم، السودان. <https://bit.ly/3tmCUa4>
24. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء. اعداد مختلفة، 2016. القاهرة، مصر.
25. محمود، ممدوح السيد ومحمد، جيهان عبد المعز. دراسة اقتصادية لأثر الممارسات الزراعية على الفاقد لمحصول القمح في محافظة سوهاج. مجلة أسبوط للعلوم الزراعية. 2017; 48 (4). مصر. https://ajas.journals.ekb.eg/article_5533_a79390f71a3452e813f8c2dd13627903.pdf
26. نعمه، علاء علي عبد السلام. دراسة تحليلية للفاقد في محصول القمح من المنتج حتى المستهلك النهائي في محافظة الشرقية. المجلة المصرية للبحوث الزراعية. 2016. 94 (1). القاهرة، مصر. https://ejar.journals.ekb.eg/article_151820_1e4eafcb22e30fc8fec66475cca2d282.pdf
27. Vocke G. and Ali M. U.S. Wheat Production Practices, Costs, and Yields: Variations Across Regions. United States Department of Agriculture. Economic Research Service Economic Information Bulletin Number 116 August 2013. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/43783/39923_eib116.pdf
28. Bartholomeu DB, da Rocha FV, Péra TG, Caixeta-Filho JV. Postharvest losses in the wheat logistics chain: A Brazilian case study. *J Agric Sci Technol B* [Internet]. 2016 May 28;6(5). DOI:10.17265/2161-6264/2016.05.005. Available from: https://www.researchgate.net/publication/317951512_Postharvest_Losses_in_the_Wheat_Logistics_Chain_A_Brazilian_Case_Study
29. Prater M, Sparger A, Bahizi P, O'Neil, Jr. D. Rail's loss of grain transportation market share. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Marketing Service, December 2013. [Internet]. Available from: http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Rail's_Loss_of_Grain_Transportation_Market_Share.pdf
30. إبراهيم، ناصر. تصميم ونمذجة خوارزميات التنبؤ الطيفي بإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية متعددة الأطياف متعددة المراحل. الاستشعار عن بعد. 2014؛ العدد 26: 1-26. دمشق، سوريا.

ورقة بحثية

التحليل الكروماتوغرافي - الكتلي لبعض المركبات الفعالة حيويًا في اثنين من النباتات الطبية اليمنية

عيشة محمد علي محسن¹، عادل أحمد محمد سعيد²، طه أبوبكر فضل سالم¹

¹ قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة عدن، عدن، الجمهورية اليمنية

² قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة عدن، عدن، الجمهورية اليمنية

ORCID ID: 0000-0002-1154-2994- Email: adel_saeed73@yahoo.com *

الملخص

تمتلك النباتات الطبية العديد من المكونات ذات الفاعلية الحيوية المتأتية من منتجات الأيض الثانوية، وتستخدم لعلاج العديد من الأمراض. تناولت الدراسة اثنين من النباتات التي تنمو في اليمن والمستخدم في الطب الشعبي، وهما اللافندر الزغبي (*Lavandula pubescens Decne*) والدورستينا فويتيدا (*Dorstenia foetida*). تم التحليل النوعي للمستخلص الميثانولي للنباتين، لمعرفة نوعية مكونات الأيض الثانوية فيها بواسطة الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء المرتبطة بمطيافية الكتلة (HPLC-MS). كشف التحليل عن وجود العديد من المكونات الفعالة في النباتين مثل الفلافونيدات والتربينات والقلويدات والكومارينات. احتوى نبات الدورستينا فويتيدا على العديد من الأنواع المختلفة من الفلافونيدات والكومارينات، إضافة إلى نوع واحد من القلويدات، بينما كشف تحليل نبات اللافندر الزغبي عن وجود العديد من التربينات والقلويدات ونوع واحد من الستيرويدات.

الكلمات المفتاحية: النباتات الطبية، الدورستينا فويتيدا، اللافندر الزغبي، منتجات الأيض الثانوية، التحليل الكروماتوغرافي - الكتلي.

Title:

Chromatography-mass spectrometry analysis of some bioactive compounds in two Yemeni medicinal plants

Aisha Mohammed Ali Mohsen¹, Adel A. M. Saeed^{2*}, Taha Abubaker Fdhel Salem¹

¹ Faculty of Education, University of Aden, Aden, Yemen

² Faculty of Science, University of Aden, Aden, Yemen

Abstract

Medicinal plants have a broad range of bioactive substances due to the secondary metabolite compositions and used in treatment of several diseases. This study aimed at investigating the methanolic extraction of the bioactive compounds in two Yemeni medicinal plants (*Dorstenia foetida* and *Lavandula pubescens Decne*) using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. The proposed method provided a tentative identification of several constituents such as alkaloids, flavonoid, steroids, terpenoids and coumarin in the studied plants.

Keywords: Medicinal Plants, *Dorstenia foetida*, *Lavandula pubescens Decne*, Secondary Metabolites, HPLC-MS Analysis

Received 27 February 2021; accepted 05 September 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Mohsen AMA, Saeed AAM, Salem TAF Chromatography-mass spectrometry analysis of some bioactive compounds in two Yemeni medicinal plants. Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.10. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.10>

توجد الدورستينيا فويتيدا في المناطق شبه الاستوائية، وتحديداً في أفريقيا وشبه الجزيرة العربية، مثل إثيوبيا والصومال وكينيا وتنزانيا، والمملكة العربية السعودية واليمن وعمان. ويستوطن هذا النبات في الأدغال والأماكن المفتوحة وعلى التلوات الصخرية.⁴⁹⁻⁴⁷

أما نبات اللافندر الزغبى «اللافندر بيسنس ديك» (*Lavandula pubescens Decne*) فينتشر في دول حوض البحر المتوسط وبلاد الشام ومصر والهند، كما يُزرع في جنوب أوروبا وبلغاريا وروسيا والولايات المتحدة الأمريكية.^{51,50} وهو واسع الانتشار في مواسم الأمطار في المرتفعات الجبلية بالجمهورية اليمنية،⁴⁷ وأيضاً في الجزيرة العربية وشمال غرب أفريقيا وآسيا.⁴² أصبحت عملية الفصل والتعرف على المكونات الفعالة الموجودة في منتجات الأيض الثانوية التي تحتويها النباتات من الأمور المهمة في معظم الدراسات السابقة والحالية. ويمكن أن تدمج الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC) (وهي تقنية فصل) بمطيافية الكتلة (MS) (وهي تقنية تعريف وكشف) ليشكل هذا الترابط تقنية أكثر فعالية ودقة وأسهل وأقل تكلفة تستخدم فيها كميات صغيرة (أقل من 1 غم) من العينات المدروسة البيئية أو الصناعية أو الطبية لتحليلها.⁵⁴⁻⁵²

توجد عدة طرق للتأين، مثل التأين الإلكتروني والتأين الكيميائي، ويتم فيها تجزئة المادة لتحليلها بشكل أكثر وضوحاً وسهولة. ومن هذا المنطلق، تم تطوير طريقة زمن التحليق (Time of Flight) لتأين مطيافية الكتلة (TOF ESI-MS) للتعرف على المركبات على أساس الكتلة الجزيئية، حيث يستخدم مقياس الطيف الكتلي - زمن التحليق لتحديد العينات المعقدة، وتشخيصها ومعرفة مكوناتها. كما يمكن استخدام هذه الطريقة في التحليل الكمي لمقدرتها على توفير السرعة والحساسية والدقة والمدى الديناميكي مجمعة معاً، مما يتيح لنا الحصول على معظم المعلومات المطلوبة من العينات قيد الدراسة.^{56,55}

تناولت دراستنا الحالية الكشف عن المكونات الفعالة في منتجات الأيض الثانوية في نباتي اللافندر الزغبى (*Lavandula pubescens Decne*) والدورستينيا فويتيدا (*Dorstenia foetida*)، حيث تم تحليل المستخلص الميثانولي لهذين النباتين باستخدام تقنية (HPLC-TOF-MS) للكشف عن بعض المكونات ذات التأثير الحيوي. ينتمي نبات اللافندر الزغبى إلى العائلة الشفوية، ويستخدم في الموروث الشعبي في اليمن لعلاج أمراض الحساسية كما يستخدم بهاراً، بينما يندرج نبات الدورستينيا فويتيدا ضمن العائلة التوتية ويستخدم في علاج الأمراض الجلدية المختلفة والتهابات الصدر.

2- تصنيف النباتات

يملك نباتا الدراسة العديد من الأسماء الشائعة؛ فاللافندر الزغبى (*Lavandula pubescens Decne*) يسمى محلياً في اليمن بأسماء منها: فحة، فحية، عطان، عويس، في حين يطلق عليه في السعودية اسم ضرم، وفي بلاد الشام يسمى خزامى، بينما يعرف نبات الدورستينيا فويتيدا (*Dorstenia foetida*) محلياً باسم الفالقة أو الكسار، وفي سلطنة عمان كرثيب أو زهرة الدرع بلغة أهل ظفار، وفي السعودية يعرف باسم فلق بحر. ومع هذا، يظل الاسم العلمي اللاتيني للنبات هو السائد لسهولة التعرف عليه وخضوعه للتصنيف العالمي. ويبين الشكل (1) تصنيف نباتي الدراسة الحالية.

تعتبر النباتات مخزوناً ضخماً للمنتجات الطبيعية، التي تصنف إلى منتجات أيض أولية وهي أساسية للتغذية (الكربوهيدرات والبروتينات ... إلخ)، ومنتجات أيض ثانوية وهي المكونات الفعالة في النباتات، وتنتج من منتجات الأيض الأولية ويستخدمها النبات مواداً دفاعية ولحمية نفسه من أي هجوم خارجي عليه، كما تمكنه من التكيف مع بيئته. تمتلك منتجات الأيض الثانوية أهمية في تعزيز صحة الإنسان من خلال استخدام هذه المنتجات كمضادات أكسدة أو مضادات للجراثيم، وكذا رفع كفاءة النظام المناعي تجاه معظم الفيروسات وعلاج العديد من الأمراض التي قد تصيب الإنسان.¹⁰⁻¹

يوجد العديد من منتجات الأيض الثانوية التي تتمتع بتركييب ومجاميع كيميائية مختلفة، منها الفينولات التي ثبتت تأثيراتها الحيوية الواسعة، وتصنف إلى عدة أنواع، منها الفلافونيدات، والقلويدات، والجليكوسيدات، والتانينات، والصابونينات، والستيرويدات، والكومارينات والتربينات.¹¹

تتضمن الفلافونيدات أنواعاً عديدة، منها الفلافونات، والفلافونولات والفلافونولات.^{13,12} وعموماً، تستخدم الفلافونيدات في جوانب علاجية متعددة، حيث تستخدم كمضادات للتأكسد وعلاجات للأمراض القلبية ومضادات للسرطانات، والالتهابات والحساسية.^{16-14,7}

تشكل القلويدات مجموعة متنوعة جداً وذات أوزان جزيئية منخفضة. وتحتوي القلويدات في تركيبها على النيتروجين غير المتجانس الذي يشترك غالباً من أحماض أمينية، وتنتج النباتات نحو 12000 من القلويدات المختلفة.¹⁷ وتظهر القلويدات فاعلية حيوية كمضادات للأكسدة ومضادات للبكتيريا.^{19,18} تمتلك التانينات أوزاناً جزيئية عالية يستخدمها الإنسان كمضادات للأكسدة والسرطانات والجراثيم.²²⁻²⁰ كما تؤدي دوراً كبيراً في حماية النباتات من الأمراض وما قد يهاجمها.^{24,23}

تتكون الجليكوسيدات من جزء سكري مرتبط برابطة خاصة بجزء لاسكري، وهو غالباً فينول أو كحول أو مركبات كبريتية. وتستخدم الجليكوسيدات القلبية في علاج اضطراب ضربات القلب.^{26,25} كما تؤدي الجليكوسيدات دوراً في مكافحة الجراثيم.^{28,27}

وفي الإطار نفسه، تؤدي العديد من الليبيدات، مثل الأحماض غير المشبعة، دوراً حيوياً فعالاً للحفاظ على الصحة.³¹⁻²⁹ وتعد الصابونينات النباتية من المنتجات الثانوية الطبيعية التي يرتبط فيها الجليكوسيل بثلاثي التربينويد (تربين ثلاثي أو ستيريود).³² وتوجد الصابونينات غالباً في نباتات كاسيات البذور.^{34,33} وتتملك العديد من المركبات ذات الفعالية الحيوية التي تدخل ضمن عقاقير مضادات الأكسدة ومضادات الالتهاب والسرطانات.^{36,35} وتحتوي الكومارينات أيضاً مركبات مضادة للتأكسد وللجراثيم، وتستخدم لعلاج العديد من الأمراض الجلدية.^{38,37,11} وتعتبر الفيتامينات من المغذيات التي يحتاجها جسم الكائن الحي ولا يتم تصنيعها في داخله ولها تأثير حيوي على الصحة.³⁹ تركزت معظم الدراسات السابقة (بحسب علم الباحثين) حول التركيب الكيميائي للزيوت الطيارة والعطرية لأنواع نباتات جنس اللافندر (*Lavandula*)^{41,40} وأشارت بعض هذه الدراسات إلى أن المكونات الرئيسية للزيت هي خليط من تربينات أحادية وثنائية، وسيكوتربينات، وإسترات، وكيوتونات. ولوحظ أن المكونات الأساسية لنباتات جنس اللافندر في مختلف البلدان تشتمل على مركبات الفينول، وعموماً فإن مكونات النبات ونسبها تختلف باختلاف الظروف البيئية والوقت من السنة.⁴²

يتملك جنس الدورستينيا (*Dorstenia*) تشكيلة واسعة من المكونات الفعالة، مثل الفلافونويدات، والفلافونولات، والفلافونولات، والكومارينات والتربينات.⁴⁶⁻⁴³



الشكل 3. نبات الدورستينيا فويتيدا (*Dorstenia foetida*).

2-3 تحضير العينة

تم أخذ 10mg من البودرة النباتية واستخلصت بـ 500µL من الميثانول عالي النقاوة مع الرج المتقطع ثم رشحت بعد مرور 18 ساعة. تم حقن 5µL من المستخلص الميثانولي لنباتي الدراسة في جهاز (HPLC-TOF-MS).

3-3 تحليل (HPLC-MS)

استخدم في هذا البحث جهاز نوعية (Agilent G1969A LC/MSD TOF)، وتم التحليل بمركز مطيافية الكتلة التابع لجامعة ويسكنسن في ماديسون بالولايات المتحدة الأمريكية. ويوضح الجدول (1) تفاصيل وظروف العمل.

الجدول 1. ظروف إجراء تحليل (LC-MS).

ظروف تشغيل جهاز الكروماتوغرافيا السائل (HPLC Conditions)	
Column	Agilent ZORBAX 80Å Stable Bond SB-C18, Dimensions Particle: 2.1 mm × 50 mm, Pore size: 80 Å, Packed: 1.8 µm insoluble porous beads.
Column temp.	35 °C
Mobile phase	A= 0.1% formic acid in water; B=0.1% formic acid in acetonitrile.
Gradient	2%B at 0 min; 2%B at 1min; ramp to 50%B at 35 min; ramp to 95%B at 40min; ramp back to 2%B at 42 min; hold at 2%B until 60 min. Stop time=60 min (no post-time).
Flow rate	250 µL/min
Autosampler temp.	held at 6 °C
Injection volume.	5 µL



الشكل 1. التصنيف العلمي لنباتي الدراسة.

3- الجانب العملي

1-3 المواد والكواشف

تم جمع أوراق نبات اللافندر الزغبى (الشكل 2) والريزومات لنبات الدورستينيا فويتيدا (الشكل 3) من منطقة يافع باليمن، حيث تمت مراعاة أن تكون هذه النباتات سليمة وخالية من الأمراض النباتية. وقد جمعت النباتات في ساعات الصباح الباكر وفصلت الأجزاء النباتية المدروسة عن بقية أجزاء النبات ثم غسلت جيداً بماء الصنبور والماء المقطر ثلاث مرات. جففت الأجزاء المغسولة في الظل عند درجة حرارة الغرفة. وبعد التجفيف، طحنت كل عينة على حدة بواسطة خلاط كهربائي، ثم نُخل المسحوق الناتج بواسطة منخل قطر مسامه (0.25mm) ووضعت البودرة الناعمة لكل عينة في أكياس نايلون معقمة، وحفظت في الثلاجة إلى حين الاستخدام.



الشكل 2. نبات اللافندر الزغبى (*Lavandula pubescens* Decne).

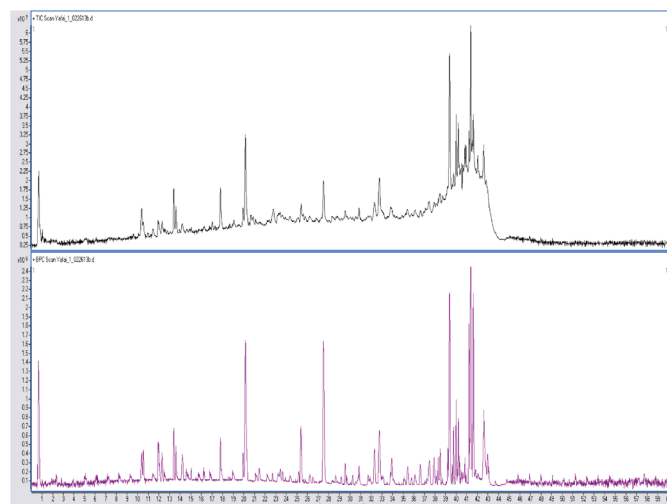
ظروف تشغيل جهاز مطياف الكتلة (MS Conditions)

Source	Positive ESI
Internal standard supplied to ESI source	at 20µL/min via isocratic pump and ionized by secondary ESI needle.
Drying gas flow	10L/min.
Nebulizer gas	30psi
Drying gas temp	350°C
V capillary	3500V
Scan (in positive ion mode)	100-3200m/z
Fragmentor	60V (M+H) ⁺ identification and 130V for fragmentation.
Resolution	10,000 transients/scan with a cycle time of 0.89 cycles/sec.
Reference masses	m/z 121.050873 and 922.009798

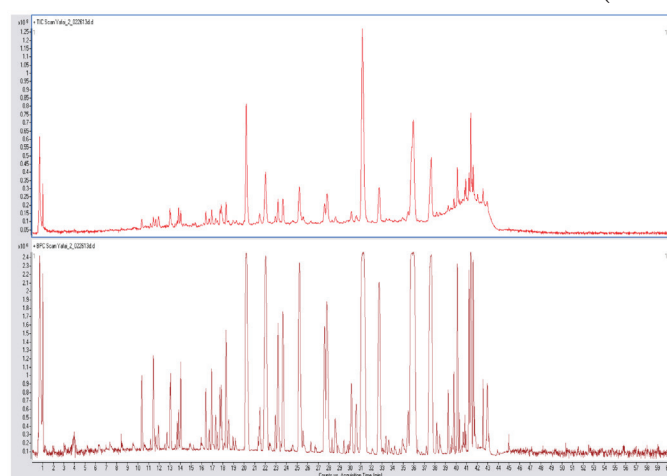
4- النتائج والمناقشة

أظهرت كروماتوغرامات مجموع الأيونات الموجبة (TIC+) عدة قمم في مدى الزمن 0-45 دقيقة، وتم تأكيدها باستخدام كروماتوغرافيا قمع التداخل الموجبة الأساسية (BPC+) (الشكلان 4 و5).

وأشارت نتائج التحليل للكشف النوعي عن المكونات الفعالة في نباتي الدراسة بواسطة (LC-MS) إلى وجود العديد من المركبات الفعالة ذات التأثير الحيوي (الجدولان 3 و4). ففي نبات اللافندر الزغبى كانت القلويدات الظاهرة في التحليل هي (Terminaline) و(Cassin)، إضافة إلى عدد من التربينات الأحادية والسيكوتربينات والسترويدات، وظهر فيتامين A أكثر من صورة له مثل الريتينول (A1 Vit) والديهيدروريتينول (A2 Vit) (الجدول 2). وبناء عليه، يمكن أن يكون هذا النبات مصدرًا غذائيًا ودوائيًا مهمًا للمحافظة على الصحة، وبوجود مركبات الريتينول يمكن استخدام نبات اللافندر الزغبى في مستحضرات التجميل للحفاظ على نظارة وجمال البشرة مثلها مثل أنواع اللافندر الإنجليزي والفرنسي المستخدمة في هذا المجال، كما أن وجود التربينات في اللافندر الزغبى يمنحها القدرة على استخدامها مضادًا للجراثيم والفيروسات. بينما كشفت نتائج التحليل لنبات الدورستينا فويتيدا عن وجود أنواع مختلفة من الفلافونيدات والأيزوفلافونيدات والكومارينات والفيورانوكومارينات، إضافة إلى وجود نوع واحد من القلويدات هو قلويد (Cassin)، وبناء عليه يعتبر نبات الدورستينا فويتيدا مصدرًا مهمًا للفلافونيدات والكومارينات، ولعل وجود أنواع من الكومارينات مثل الكومارين المسمى (Psoralen) (الجدول 3) الذي يماثل العقار الطبي المسمى بنفس الاسم والذي يستخدم لعلاج الأمراض الجلدية، يمكن أن يكون مؤشرًا على فعالية نبات الدورستينا فويتيدا في معالجة الأمراض الجلدية، كما يعد دليلًا على صحة استخدامه في الطب الشعبي كعلاج للأمراض الجلدية، مثل البهاق والصدفية.

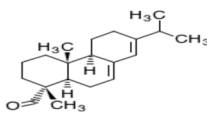
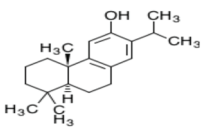
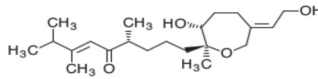
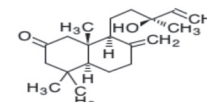
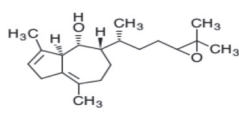
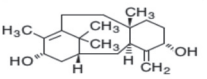
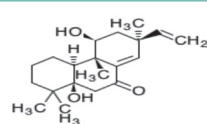
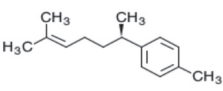
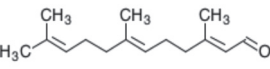
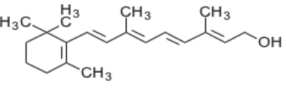
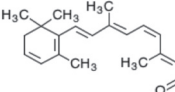
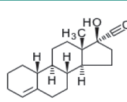
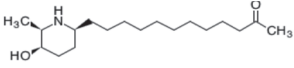
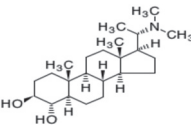
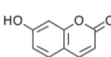


الشكل 4. (TIC+) و(BPC+) لنبات اللافندر الزغبى (*Lavandula pubescens*) (Decne).

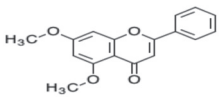
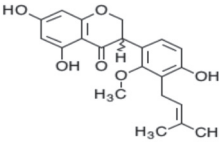
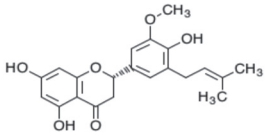
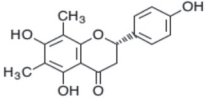
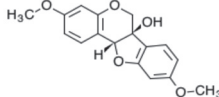
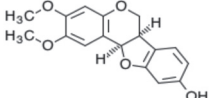
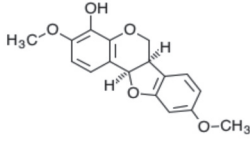
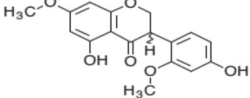
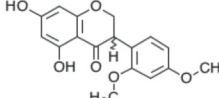
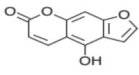
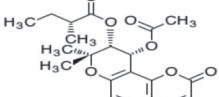
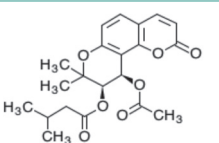
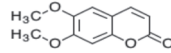


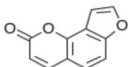
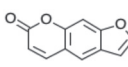
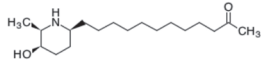
الشكل 5. (TIC+) و(BPC+) لنبات الدورستينا فويتيدا (*Dorstenia foetida*).

الجدول 2. بعض المركبات الفعالة التي تم التعرف عليها بواسطة تحليل (LC-MS) للمستخلص الميثانولي لنبات اللافندر الزغبي

No	RT (min)	Bioactive Compounds	Name of the Compound	Molecular Formula	MW	Structure
1	40.001	Diterpene; Abietanediterpenoids	Abietal; Abietaldehyde; Abietinal	C ₂₀ H ₃₀ O	286.4516	
2	32.768	Terpenoid; Diterpenoids Abietanes	Ferruginol	C ₂₀ H ₃₀ O	286.4516	
3	39.172	Terpenoid; Diterpenoids	Montanol	C ₂₁ H ₃₆ O ₄	352.5081	
4	40.002	Terpenoid; Diterpenoids Labdanes	2-Ketoepimanool	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304.4669	
5	29.553	Terpenoid; Diterpenoids	Acutilol A	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304.4669	
6	32.311	Diterpene	Taxa-4(20),11(12)-dien-5alpha,13alpha-diol	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	304.4669	
7	25.604	Terpenoid; Diterpenoids	Ineketone	C ₂₀ H ₃₀ O ₃	318.4504	
8	37.923	Terpenoid; Sesquiterpenoids	alpha-Curcumene; Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-, (R)-	C ₁₅ H ₂₂	202.3352	
9	37.94	Terpenoid; Sesquiterpenoids	2-trans,6-trans-Farnesal; trans,trans-Farnesal	C ₁₅ H ₂₄ O	220.3505	
10	40.522	Vitamin; Fat-soluble vitamin	Retinol; all-trans-Retinol; Vitamin A; Vitamin A ₁	C ₂₀ H ₃₀ O	286.4516	
11	40.422	Vitamin A2 aldehyde	11-trans-Dehydroretinal;Dehydroretinaldehyde	C ₂₀ H ₂₆ O	282.4198	
12	31.717	Lipid Sterol; Steroids	Lynestrenol	C ₂₀ H ₂₈ O	284.4357	
13	38.407	Alkaloid; Piperidine alkaloids	Cassine	C ₁₈ H ₃₅ NO ₂	297.476	
14	38.169	Alkaloid; Steroid alkaloids	Terminaline	C ₂₃ H ₄₁ NO ₂	363.5771	
15	15.048	Coumarin	Umbelliferone; 7-Hydroxycoumarin	C ₉ H ₆ O ₃	162.1421	

الجدول 3. بعض المركبات الفعالة التي تم التعرف عليها بواسطة تحليل (LC-MS) للمستخلص الميثانولي لنبات الدورستينا فويتيدا

No	RT (min)	Bioactive Compounds	Name of the Compound	Molecular Formula	MW	Structure
1	20.197	Flavonoid; Flavones	5,7-Dimethoxyflavone; Chrysin 5,7-dimethyl ether	C ₁₇ H ₁₄ O ₄	282.2907	
2	21.575	Flavonoid; Isoflavonoids	Sophoraisoflavanone A	C ₂₁ H ₂₂ O ₆	370.3958	
3	23.2	Flavonoid; Flavanones	5>-Prenylhomoeriodictyol; Sigmoidin B 3>-methyl ether	C ₂₁ H ₂₂ O ₆	370.3958	
4	23.665	Flavonoid; Flavanones	Farrerol	C ₁₇ H ₁₆ O ₅	300.3059	
5	17.328	Flavonoid; Isoflavonoids	(-)-Variabilin	C ₁₇ H ₁₆ O ₅	300.3059	
6	17.731	Flavonoids Isoflavonoids	(-)-Sparticarpin	C ₁₇ H ₁₆ O ₅	300.3059	
7	17.852	Flavonoid; Isoflavonoids	4-Hydroxyhomoptercarpin	C ₁₇ H ₁₆ O ₅	300.3059	
8	21.186	Flavonoid; Isoflavanones	Cajanol	C ₁₇ H ₁₆ O ₆	316.3053	
9	25.049	Flavonoids; Isoflavanones	Homoferreirin	C ₁₇ H ₁₆ O ₆	316.3053	
10	32.742	Coumarin; Furanocoumarins	Bergaptol; 5-Hydroxypsoralen; 5-Hydroxyfuranocoumarin	C ₁₁ H ₆ O ₄	202.1629	
11	18.404	Coumarin	Visnadin; Visnadine	C ₂₁ H ₂₄ O ₇	388.4111	
12	18.301	Coumarin	Dihydrosamidin	C ₂₁ H ₂₄ O ₇	388.4111	
13	17.94	Coumarin	Scoparone; 6,7-Dimethoxycoumarin	C ₁₁ H ₁₀ O ₄	206.1947	

14	11.986	Coumarin; Furanocoumarins	Angelicin; Isopsoralen	$C_{11}H_6O_3$	186.1635	
15	18.552	Coumarin; Furanocoumarins	Psoralen; Ficusin	$C_{11}H_6O_3$	186.1635	
16	38.449	Alkaloid; Piperidine alkaloids	Cassine	$C_{18}H_{35}NO_2$	297.476	

5- الخاتمة

تم استخدام تقنية عالية الكفاءة للكشف الدقيق عن بعض أنواع المركبات الفعالة حيويًا المستخلصة بمذيب الميثانول من أوراق وريزومات نباتين يستخدمان في الطب الشعبي. وأظهر التحليل وجود عدد من المكونات ذات الاستخدام العلاجي مما يفسح المجال لاستثمار هذه النباتات في علم العقاقير.

المراجع

- Monisha S, Balliah R. Phytochemical determination of a polyherbal extract using FTIR and GC-MS analysis. *European Journal of Pharmaceutical and Medical Research*. 2015;2(7):173-178.
- Ali AM., Saeed AAM, Fdhel TA. Phytochemical analysis and antimicrobial screening of selected Yemeni folk medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2019;7(5):108-114.
- علي ع م، سعيد ع أم، فضل ط أ. التحليل التقريبي لأربعة نباتات طبية تنتمي للعائلتين *Lamiaceae* و *Moraceae* من منطقة يافع- اليمن. مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية والتطبيقية. 24 (1) 2020. ص 99 - 109. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30360.34566>
- علي ع م، سعيد ع أم، فضل ط أ. التحليل الكيمونباتي لأربعة نباتات طبية من منطقة يافع- اليمن تنتمي للعائلتين *Lamiaceae* و *Moraceae*. مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية والتطبيقية. 2020; المجلد 24 ، العدد 2 ، ص 331-342.
- Abdu OH, Saeed AAM, Fdhel TA. Polyphenols/Flavonoids analysis and antimicrobial activity in pomegranate peel extracts. *Electronic Journal of University of Aden for Basic and Applied Sciences*. 2020;1(1):14-19. <https://doi.org/10.47372/ejua-ba.2020.1.4>.
- Saeed AAM, Abdu OH, Fdhel TA. HPLC analysis and DPPH assay of some bioactive compounds in pomegranate peel extracts. *Research and Reviews: Journal of Medicinal Chemist*. 2020;2(1):10-23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3924864>.
- سعيد ع أم ، الحوشي ع س س ، ، بازقمة م ص م. التحليل الكمي للزطوبة والرّماد وبعض مضادات الأكسدة في بعض الخضروات المزروعة في دلتا تبّ، محافظة لحج، اليمن. مجلة أريد للعلوم والتكنولوجيا. 2020; المجلد 3 ، العدد 5 ، ص 59-73. <https://doi.org/10.36772/arid.ajst.2020.353>
- Saxena HO, Soni A, Mohammad N, Choubey SK. Phytochemical screening and elemental analysis in different plant parts of *Uraria picta* Desv: A Dashmul species. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2014;6(5):756-760.
- Edeoga HO, Okwu DE, Mbaebie BO. Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*. 2005;4(7):685-688.
- Hill HF. *Economic botany. A textbook of useful plants and plant products*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Book Company Inc; 1952.
- Campos MR. *Bioactive compounds health benefits and potential applications*. UK: Elsevier Inc.; 2019.
- Harborne JB. *The flavonoids, advances in research since 1986*. London: Chapman & Hall; 1994.
- Winkel-Shirley B. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiology*. 2001;126:485-492.
- Huang Q, Guo Y, Fu R, Peng T, Zhang Y, Chen F. Antioxidant activity of flavonoids from leaves of *Jatropha curcas*. *ScienceAsia*. 2014;40:193-197.
- Garcia O, Castillo J. Update on uses and properties of citrus flavonoids: New findings in anticancer, cardiovascular, and anti-inflammatory activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(6):6185-6205.
- Kawai M, Hirano T, Higa S, Arimitsu J, Maruta M, Kuwahara Y, et al. Flavonoids and related compounds as anti-allergic substances. *Allergology International: Official Journal of the Japanese Society of Allergology*. 2007;56:113-123.
- Ziegler J, Facchini PJ. Alkaloid biosynthesis: Metabolism and trafficking. *Annual Review of Plant Biology*. 2008;59:735-769.
- Czapski GA, Szypula W, Kudlik M, Wileńska B, Kania M, Danikiewicz W, et al. Assessment of antioxidative activity of alkaloids from *Huperzia selago* and *Diphysastrum complanatum* using in vitro systems. *Folia Neuropathologica*. 2014;52(4): 394-406.
- Karou D, Savadogo A, Canini A, Yameogo S, Montesano C, Simporé J, et al. Antibacterial activity of alkaloids from *Sida acuta*. *African Journal of Biotechnology*. 2006;5(2):195-200.
- Amarowicz R, Naczka M, Shahidi F. Antioxidant activity of crude tannins of canola and rapeseed hulls. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2000;77(9):957-961.

21. Shohayeb M, Abdel-Hameed E, Bazaid S. Antimicrobial activity of tannins and extracts of different parts of *Conocarpus erectus* L. International Journal of Pharma and Bio Sciences. 2013;3(2): 544–553.
22. Park M, Cho H, Jung H, Lee H, Hwang KT. Antioxidant and anti-inflammatory activities of tannin fraction of the extract from black raspberry seeds compared to grape seeds. Journal of Food Biochemistry. 2014;38:259–270.
23. Strier KB. Primate behavior ecology. Boston: Allyn and Bacon; 2003.
24. Kraus TE, Dahlgren RAC, Zasoski RJ. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems: A review. Plant and Soil. 2003;256:41–66.
25. Prassas I, Diamandis EP. Novel therapeutic applications of cardiac glycosides. Nature Reviews Drug Discovery. 2008;7:926–935.
26. Newman RA, Yang P, Pawlus AD, Block KI. Cardiac glycosides as novel cancer therapeutic agents. Molecular Interventions. 2008;8:36–49.
27. Afolabi C, Akinmoladun EO, Dan-Ologe IA. Phytochemical constituents and antioxidant properties of extracts from the leaves of *Chromolaena odorata*. Scientific Research and Essays. 2007;2(6):191–194.
28. Qadir U, Paul VI, Ganesh P. Preliminary phytochemical screening and in vitro antibacterial activity of *Anamirta cocculus* (Linn.) seeds. Journal of King Saud University – Science. 2015;27:97–104.
29. Dhankhar J, Sharma R, Indumathi KP. Bioactive lipids in milk. International Food Research Journal. 2016;23(6):2326–2334.
30. Abbas HM, Abd El-Hamid LB, Kassem JM, Salama MI. Bioactive lipids and phospholipids classes of buffalo and goat milk affected by seasonal variations. American Journal of Food Science and Nutrition. 2019;1(2):1–13.
31. سعيد ع أم، سالم ط أ ف، السعيد ف س س. التّقدير الكميّ للكلوستروم الكلي في بعض ألبان الأسواق اليمنية. مجلة جامعة عدن الإلكترونية للعلوم الأساسية والتّطبيقية 2020. المجلد 1، العدد 2، ص 111 – 119. <https://doi.org/10.47372/ejua-ba.2020.2.22>
32. Lacaille-Dubois MA, Wagner H. Bioactive saponins from plants: An update. Studies in Natural Products Chemistry. 2000;21B:633–687.
33. Wink M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. Phytochemistry. 2003;64:3–19.
34. Henry M. Saponins and phylogeny: Example of the “gypsogenin group” saponins. Phytochemistry Reviews. 2005;(4):89–94.
35. Hu JL, Nie SP, Huang D-F, Li C, Xie M-Y. Extraction of saponin from *Camellia oleifera* cake and evaluation of its antioxidant activity. International Journal of Food Science & Technology. 2012;47:1676–1687.
36. Patlolla JMR, Rao CV. Anti-inflammatory and anticancer properties of β -Escin, a triterpene saponin. Current Pharmacology Reports. 2015;1:170–178.
37. Alnufaie R, Raj KC, Alsop N, Whitt J, Chambers SA, Gilmore D, et al. Synthesis and antimicrobial studies of coumarin-substituted pyrazole derivatives as potent anti-*Staphylococcus aureus* agents. Molecules. 2020;25:2758. <https://doi.org/10.3390/molecules25122758>.
38. Godara P, Dulara BK, Barwer N, Chaudhary NS. Comparative GC–MS analysis of bioactive phytochemicals from different plant parts and callus of *leptadenia reticulata* wight and arn. Pharmacognosy Journal. 2019;11(1):129–140.
39. Gökmen V, editor. Acrylamide in food: Analysis, content and potential health effects. Academic Press. Elsevier. 2016.
40. Gilani AH, Aziz N, Khan MA, Shaheen F, Jabeen Q, Siddiqui BS, et al. Ethnopharmacological, evaluation of the anticonvulsant, sedative and antispasmodic activities of *Lavandula stoechas* L. Journal of Ethnopharmacology. 2000;71:161–167.
41. El-Said H, Ashgar SS, Bader A, AlQathama A, Halwani M, Ascrizzi R, et al. Essential oil analysis and antimicrobial evaluation of three aromatic plant species growing in Saudi Arabia. Molecules. 2021;26(959):1–12. <https://doi.org/10.3390/molecules26040959>.
42. Ali S, Salimi F, Vahid AH. Phytochemical and antimicrobial activities of *Lavandula officinalis* leaves and stems against some pathogenic microorganisms. Journal of Medicinal Plants Research. 2012;6(3):455–460.
43. Vilegas JHY, Lancas FM, Vilegas W, Pozetti GL. Further triterpenes, steroids and furocoumarins from Brazilian medicinal plants of *Dorstenia* genus (Moraceae). Journal of the Brazilian Chemical Society. 1997;8(5):529–535.
44. Bertin V, Krohn K, Kouam SF, Hussain H, Dongo E, Meier K, et al. A new isobauerane-type triterpenoid and other, minor constituents from the twigs of *Dorstenia dinklagei*. Biochemical Systematics and Ecology. 2008;36:655–658.
45. Heinke R, Franke K, Michels K, Wessjohann L, Ali NAA, Schmidt J. Analysis of furanocoumarins from Yemenite *Dorstenia* species by liquid chromatography/electrospray tandem, mass spectrometry. Journal of Mass Spectrometry. 2012;47:7–22.
46. Ntie-Kang F, Lifongo LL, Mbaze LM, Ekwelle N, Owono LCO, Megnassan E, et al. Cameroonian medicinal plants: A bioactivity versus ethnobotanical survey and chemotaxonomic classification. BMC Complementary and Alternative Medicine. 2013;13:147.
47. الخليدي، ع أ. نباتات برية من اليمن، وزارة السياحة والبيئة، اليمن، كتيب 2002، ص 41.
48. Omisore NOA, Adewunmi CO, Iwalewa EO, Ngadjui BT, Adenowo TK, Abegaz BM, et al. Antitrichomonal and antioxidant activities of *Dorstenia barteri* and *Dorstenia convexa*. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2005;38:1087–1094.
49. Heinke R, Franke K, Porzel A, Ludger AW, Ali NAA, Schmidt J. Furanocoumarins from *Dorstenia foetida*. Phytochemistry. 2011;72:929–934.
50. WHO. Monographs on selected medicinal plants. 2007; vol. 3. Report of a WHO global survey, WHO, Geneva.
51. Saadatian M, Aghaei M, Farahpour M, Balouch Z. Chemical composition of lavender (*Lavandula officinalis* L.) extraction extracted by two solvent concentrations. Global Journal of Medicinal Plant Research. 2013;1(2):214–217.
52. Steinmann D, Ganzera M. Recent advances on HPLC/MS in medicinal plant analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2011;(55):744–757.
53. Sheemole MS, Antony VT, Kala K, Saji A. Phytochemical analysis of *Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn. fruit using LC–

- MS technique. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. 2016;36(1):244–248.
54. Liebler D C, Burr JA, Philips L, Ham AJ. Gas chromatography–mass spectrometry analysis of vitamin E and its oxidation products. Analytical Biochemistry. 1996;236:27–34.
55. Banerjee S, Mazumdar S. Electrospray ionization mass spectrometry: A technique to access the information beyond the molecular weight of the analyte. International Journal of Analytical Chemistry. 2012;article ID. 282574:40 pages. <https://doi.org/10.1155282574/2012/>.
56. Saeed AAM, Ali AM, Fdhel TA. HPLC-ESI-MS analysis of some bioactive substances in Two Yemeni medicinal plants. Electronic Journal of University of Aden for Basic and Applied Sciences. 2020;1(4):225–235. <https://doi.org/10.47372/ejua-ba.2020.4.60>.

ورقة بحثية

تقييم فاعلية بعض المطهرات والمعقمات على البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*) المعزولة من وحدة العناية المركزة للمواليد في مستشفى مصراتة المركزي - ليبيا

أبوبكر الرطب^{1*}، نورية المحجوب²، فوزية أبودينة³

¹ قسم الوبائيات بكلية التمريض والعلوم الصحية/ جامعة مصراتة، ليبيا

² قسم المختبر بمركز علاج السكر، مصراتة، ليبيا

³ قسم المختبر بمستشفى مصراتة المركزي، ليبيا

*elrotobbaba@gmail.com

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى فاعلية وتأثير بعض المطهرات والمعقمات المستخدمة في المرافق الصحية، وخصوصاً في مستشفى مصراتة المركزي، بحسب التراكيز المعدّة لهذه المرافق، على مجموعة البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*) المعزولة من قسم الولادة ووحدة العناية المركزة للأطفال حديثي الولادة بمستشفى مصراتة المركزي، في الفترة من 11 أكتوبر 2017 - 8 مارس 2018، مع العامل الزمني لهذا التأثير، حيث كانت الأنواع المعزولة هي (*Pseudomonas spp*)، (*Pseudomonas aeruginosa*)، (*Pseudomonas pseudomallei*)، (*Pseudomonas cepacia*)، (*Pseudomonas fluorescens*)، (*Pseudomonas luteola*)، وباستخدام أقراص ورق الترشيح المشبعة بالمعقم (Disk diffusion)، وكانت المعقمات والمطهرات، هي: (Ethanol)، (NaClO)، (Propanol AF)، (Desreson AF)، (Cidex)، (Decosept)، (Minuson AF)، (Dettol)، أظهرت النتائج تأخراً في تأثير هذه المعقمات؛ إذ لم يظهر أي تأثير قبل 20 دقيقة من التعريض، وكان أكثرها فاعلية مطهر (Cidex) عند 20 دقيقة ضد الأنواع الثلاثة (*P. cepacia*) و(*P. fluorescens*) و(*P. pseudomallei*)، ثم بعد 24 ساعة لوحظت فاعلية جيدة على أغلب الأنواع للمعقمات (Decosept) و(*NaClO*) و(*Dettol*) و(*Derseson*)، ولكن ليس على كل الأنواع، مع فاعلية جيدة لمعقم (Propanol) على كل الأنواع، وتأثير خفيف لمطهر (Ethanol) ابتداء من الدقيقة 20، وانعدام أي تأثير لمعقم (Minuson) على هذه الأنواع، حيث تراوح حجم الهالة على هذه البكتيريا من 3 مليمترات إلى 2.5 سنتيمتر.

الكلمات المفتاحية: المطهرات والمعقمات، البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*)، تأثير المعقمات والمطهرات، مستشفى مصراتة المركزي، ليبيا.

Title

Evaluation of the efficacy of some disinfectants and sterilizers on *Pseudomonas* bacteria isolated from the neonatal intensive care unit of Misurata Central Hospital - Libya

Abubaker Elrotob^{*1}, Nuria Almahjub², Fawzia Abudena³

¹ Department of Epidemiology, Faculty of Nursing and Health Sciences, Misurata University/Libya

² The Laboratory Department at the Misurata Diabetes Center/Libya

³ The Laboratory Department at the Misurata Central Hospital/Libya

Received 08 February 2021; accepted 28 June 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Elrotob A, Almahjub N, Abudena F. Evaluation of the efficacy of some disinfectants and sterilizers on *Pseudomonas* bacteria isolated from the neonatal intensive care unit of the Misurata Central Hospital-Libya. Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.11. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.11>

This study aimed to evaluate the effectiveness and impact of some disinfectants and sterilizers used at health facilities, especially in Misurata Central Hospital, Libya. The study examined the concentrations prepared for usage at these facilities and the time factor of their effectiveness on a group of *Pseudomonas* bacteria isolated from the Maternity Department and the Neonatal Intensive Care Unit in this Hospital (11 October 2017 to 8 March 2018). The isolated bacteria species were: *Pseudomonas spp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas pseudomallei*, *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas luteola*. **Method:** The study used disinfectants impregnated with filter paper discs (disk diffusion). The disinfectants used were: Ethanol, NaClO, Propanol AF, Desreson AF, Cidex, Decosept, Minuson AF and Dettol. **Results:** The results showed a delay in the effectiveness of these sterilizers. None of them showed any effect during the first 20 minutes of exposure. The most impactful disinfectant at 20 minutes was Cidex against the three types of bacteria: *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Pseudomonas pseudomallei*. Twenty four hours later, good efficacy was observed for most of the sterilizers such as Decosept, NaClO, Dettol and Desreson AF, but not on all types of bacteria. Propanol AF sterilizer showed good efficacy on all species, while Ethanol showed slight results starting from minute 20. However, Minuson sterilizer showed no effects on these species. The diameter of the inhibition area on these types of bacteria ranged from 3 mm to 2.5 cm.

Keywords: Disinfectants and antiseptics, *Pseudomonas* bacteria, disinfectants effect, Misurata Central Hospital, Libya.

1- المقدمة

المتحدة، التي استهدفت 110709 مريض منهم 6290 مصاباً بالعدوى في المستشفى، كانت أكثر الأنواع البكتيرية تكراراً هي بكتيريا (*P.aeruginosa*)⁹، في حين بينت دراسة أخرى في كندا، تضمنت 500 مريض، زيادة انتشار (*Pseudomonas cepacia*) المسؤولة عن التهاب مجرى التنفس عندهم¹⁰. وقد تغزو بكتيريا (*Pseudomonas spp*) أنسجة الجلد للمريض، مما قد تسبب تخرثم الدم أو قد تصيب الجهاز التنفسي وتسبب التهابات رئوية حادة، وقد تسبب التهاب شغاف القلب أو التهابات المفاصل أو المسالك البولية أو الجهاز الهضمي أو التهاب السحايا، وما يزيد من خطورتها أنها تزيد من خطر الوفاة الذي قد يصيب 30% من المرضى^{11,12}. ووفقاً للبيانات الصادرة عن المركز الأوروبي للوقاية من الأمراض ومكافحتها (ECDC)، تبين أنه يموت سنوياً حوالي 33000 شخص في الاتحاد الأوروبي من العدوى بسبب البكتيريا المقاومة للعديد من الأدوية، ومعظم هذه الأنواع البكتيرية تسبب العدوى وانتقال الأمراض في المستشفيات^{13,14}.

تستخدم المطهرات والمعقمات على نحو موسع في المستشفيات والمراكز الصحية لمكافحة والتحكم في نمو الميكروبات على الجلد والأسطح المختلفة، كجزء أساسي للحد من العدوى والتلوث فيها^{15,16}. ولعل المشكلة الأساسية تكمن في اختيار المعقم المناسب الذي يعتمد على التجربة والاختبار، وذلك لظهور مقاومة لهذه المطهرات والمعقمات من بعض الأنواع البكتيرية واختلافها في استجابتها لهذه المطهرات أو المعقمات، مما قد يسبب خللاً في كفاءة التعقيم^{17,18,19}، إذ إن تأثير المنظفات والمطهرات في البكتيريا السالبة والموجبة لصبغة الغرام يختلف تبعاً للمحيط المستخدم فيه هذا المعقم وكذلك زمن التعرض له¹⁸، كما يمكن أن تؤثر مقاومة المواد المضادة للميكروبات المختلفة في البرنامج العلاجي والوقائي للمريض²⁰، مما يزيد من الحاجة إلى تحسين إجراءات التطهير في أماكن الرعاية الصحية^{21,22}. كما أن هناك العديد من العوامل التي تسهم في انتشار العدوى المتعلقة بالرعاية الصحية، مثل الأجهزة والمعدات الملوثة والإجراءات الجراحية والاستخدام العشوائي لمضادات الميكروبات وكذلك بعض العوامل البيئية²³.

أظهرت دراسة أن من أكثر البكتيريا المقاومة للمطهرات والمعقمات النوعين (*Staphylococcus aureus*) و(*P.aeruginosa*)²⁴، كما أظهرت دراسة أخرى فاعلية فوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) (Hydrogen peroxide) بتركيز مختلفة (0.08%، 1%، 2%) على النمو الميكروبي للعديد من الأنواع البكتيرية من بينها (*P.aeruginosa*)²⁵. وفي دراسة، تبين عدم فاعلية هيبوكلوريت الصوديوم (Sodium hypochlorite) ($NaClO$) بعد دقيقة واحدة، وخمس دقائق، وكذلك بعد ثلاثين دقيقة ضد الأنواع البكتيرية وفشل في تقليل النمو البكتيري من ضمنها البكتيريا (*P.aeruginosa*)²⁶. كما أظهرت دراسة أخرى كانت على

تعدّ العدوى في مرافق الرعاية الصحية مصدر قلق ومشكلة صحية، لأنها تحدث نتيجة لتطور سلالات من الكائنات الحية ذات مقاومة متعددة للأدوية (Multi-Drug Resistant Organisms)¹. ووجدت العدوى المكتسبة في المستشفيات منذ وجودها، وستظل مشكلة صحية مهمة حتى في العصر الحديث، إذ ساهمت في زيادة معدلات الاعتلال والوفيات²، وقد وقعت هذه العدوى في 5-10% من جميع المستشفيات في أوروبا وأمريكا الشمالية، وأكثر من 40% من المستشفيات في أجزاء من آسيا وأمريكا اللاتينية وأفريقيا، مع إحصائيات سنوية تبلغ أكثر من مليون شخص³. وقد أظهر مركز السيطرة على الأمراض (CDC) في وزارة الصحة والخدمات الإنسانية في الولايات المتحدة أن نحو 36% من هذه الإصابات يمكن الوقاية منها من خلال تقييد العاملين في الرعاية الصحية بالمبادئ التوجيهية الصارمة عند رعايتهم المرضى، وأن سبب العدوى المكتسبة في هذه المستشفيات هي الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا، والفيروسات، والفطريات، والطفيليات)، ويمكن أن تكون هذه الكائنات موجودة بالفعل في جسم المريض أو قد تأتي من البيئة والمعدات الملوثة في المستشفى أو من العاملين في مجال الرعاية الصحية⁴. وتعدّ الاعتلالات والوفيات الناجمة عن عدوى المستشفيات هائلة، حيث في الولايات المتحدة هناك أكثر من مليوني عدوى (في الرضع والبالغين) تحدث كل سنة؛ 50-60% منها تسببها الكائنات المقاومة للمضادات الحيوية والمطهرات، كما يقدر أن 9600 إلى 20000 من المرضى يموتون سنوياً في الولايات المتحدة من التهابات مجرى الدم المرتبطة بعدوى المستشفيات، التي تزيد من تكاليف العناية المركزة، والبقاء في المستشفى عدة أسابيع، وهي المسؤولة أيضاً عن ما يقرب من 50% من الوفيات التي تحدث في الأسبوع الثاني من العمر⁵. ومن خلال الدراسات التي أجريت في مستشفى ميشيغان في الولايات المتحدة، تبين انخفاض تكرار بكتيريا (*Escherichia coli*) من 23% في سنة 1980 إلى 16% سنة 1989؛ وبكتيريا (*Klebsiella pneumonia*) من 7% إلى 5%، في حين زاد معدل حدوث بكتيريا (*Coagulase negative staphylococci*) و(*Staphylococcus aureus*) و(*Pseudomonas aeruginosa*) و(*Enterobacter spp*)⁶. كما ثبت أن أكثر أنواع البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*) تكراراً وحدوثاً في عدوى المستشفيات هي (*Pseudomonas aeruginosa*)، حيث أصبحت من أكثر مسببات الأمراض، خصوصاً في حالات الضعف المناعي⁷، فهي مسؤولة عن 10-20% من عدوى المستشفيات في وحدات العناية المركزة والمسالك البولية والمجرى التنفسي والحرق⁸. وفي دراسة مايكل ريتشارد في الولايات

الأنواع البكتيرية (Methicillin Resistance Staphylococcus aureus, MRSA)، (P.aeruginosa)، (Klebsiella species)، (Escherichia coli)، (Acinetobacter baumani)، مقاومة جميع هذه الأنواع للإيثانول بجميع تراكيزه، في حين كان أكثر المطهرات فاعلية على هذه الأنواع هو فوق أكسيد الهيدروجين، ثم يليه الكلوروهيكسيدين (Chlorhexidine)، كذلك حساسية هذه الأنواع البكتيرية لكل من اليود (Iodine) والديتول (Dettol).²⁷

2- طرائق ومواد العمل

تم جمع 295 مسحة في الفترة من 11 أكتوبر 2017 - 8 مارس 2018، عزل منها 453 عزلة بكتيرية من وحدتي العناية المركزة لحدِيثي الولادة وقسم الولادة في مستشفى مصراة المركزي (الشفاء)، حيث كان مجموع البكتيريا الزائفة (Pseudomonas) المعزولة 28 عزلة. وأخذت العينات من المواقع التالية داخل وحدتي العناية للأطفال، وهي 17 حاضنة و10 مقابض أبواب و4 مقابض أبواب للحمامات و11 طاولة، كما شملت العينات مناطق متفرقة من حاضنات الأطفال للمواليد، حيث قسمت كل حاضنة إلى عدة مواقع متمثلة في السطح الخارجي، والفتحات الخارجية الأمامية، والفتحات الجانبية للحاضنة، والمفارش الداخلية للحاضنات، وجهاز التنفس الصناعي، والأنابيب الملحقة للجهاز، وجهاز التغذية الصناعي، وجهاز إخراج الفضلات، وجهاز قياس نبض القلب والغازات ضمن المسحة الأولى، كذلك تم أخذ 9 عينات من أيدي الكوادر الطبية، وعينات من داخل قسم

الولادة من الأسرة، والطاولات الملحقة بالأسرة، وطاولة التدفئة للوليد، والميزان، وطاولة الميزان، والحاضنة الموجودة داخل القسم، والطاولة الملحقة بالحاضنة، والطاولة الرئيسية للقسم، وطاولة الأطباء للحجرة الداخلية، إضافة إلى هاتف القسم. ووضعت العينات (الماسح القطني) في وسط سائل مغذٍ (Nutrient broth)، وحضنت في درجة حرارة 37 درجة مئوية مدة 24 ساعة، ثم زرعت على الوسط الغذائي «آغار الدم» (Blood agar) وعلى الوسط الغذائي «ماكونكي آغار» (MacConkey agar, No.3)، من أجل عزل البكتيريا السالبة غرام والأنواع التي لها أهمية طبية، ومنها مجموعة البكتيريا الزائفة (Pseudomonas)، وزرعت على الوسط الغذائي «الآغار المغذي» (Nutrient agar)، كما أوصى بذلك المنتج (Oxoid)، وحضنت عند درجة حرارة 37 درجة مئوية مدة 18-24 ساعة، وذلك من أجل عمل الاختبارات الحيوية عليها لتعريفها وعزلها وتصنيفها حسب صبغة الغرام، وإجراء فحوصات أخرى كاختبار الأوكسيديز (Oxidase Test) وAPI 20E (Analytical Profile Index 20E)، للتعرف إلى أنواع البكتيريا الزائفة (Pseudomonas)، ومن ثم إجراء اختبار تأثير المطهرات والمعقمات في البكتيريا باستخدام طريقة القرص المنتشر (Disc Diffusion Method) على المستعمرات البكتيرية. وكانت المطهرات والمعقمات المستخدمة، هي: (Ethanol, NaClO, Dettol, Propanol AF, Cidex, Decosept, Minuson, Desreson AF, AF)، كما في الجدول (1)، وتمت ملاحظة التأثير بقياس قطر هالة التثبيط حسب الزمن؛ بعد الدقيقة الأولى، وبعد 20 دقيقة، وبعد 24 ساعة، وبعد 72 ساعة.

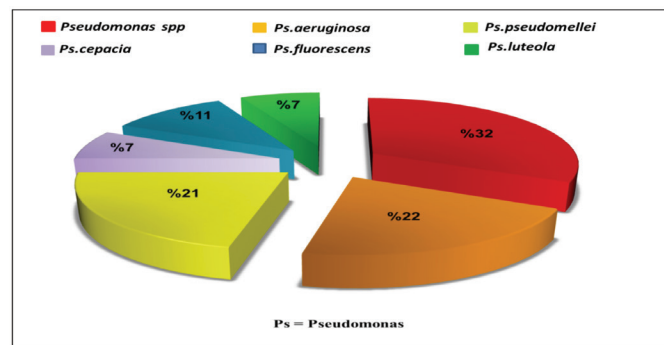
الجدول 1. المطهرات المستخدمة في الدراسة.

ت	الاسم التجاري	الصيغة والاسم الكيميائي	التركيز	المكونات والمواد المضافة إن وجدت	مكان الصنع
1	Ethanol alcohol	الكحول الإيثيلي (CH ₃ CH ₂ OH)	70%	التخفيف بالماء	الصين
2	Sodium hypochlorite (Clorox)	هيبوكلوريت الصوديوم (NaClO)	15%	أملاح الصوديوم لحمض الهيبوكلوريك	تركيا
3	Dettol	كلوروزايلينول (C ₈ H ₉ ClO)	3%	بارا - كلورو - ميتا - زيلينول	ألمانيا
4	Propanol AF	إيزوبروبانول أو بروبانول 2 أول (C ₃ H ₇ OH)	70%	يتكون من: إيزوبروبيل الكحول (Isopropyl alcohol)	تركيا
5	Cidex OPA	غوتارلديهايد Glutaraldehyde (C ₅ H ₈ O ₂)	10%	يحتوي على: مركب (Phthaladehyde) مع حمض البيروأسيتيك (peracetic acid)	الصين
6	Decosept	المادة الفعالة: إيزوبرابانول Isopropanol	80%	يحتوي على: بروبان - أول (propan-1-ol) + بروبان - 2 أول (propan-2-ol) + benzyl-C ₁₂₋₁₆ -alkyl dimethyl ammonium chloride	تركيا
7	Minuson AF	تركيب مختلف حسب الإضافات	60%	يحتوي على: 3-aminopropl + didecyl dimethyl ammonium + benzalkonium chloride	تركيا
8	Desreson AF	تركيب مختلف حسب الإضافات	60%	يحتوي على: N-dodecylpropane-1-3-diamine + didecyl dimethyl ammonium chloride + benzyl C ₁₂₋₁₆ alkyl dimethyl chlorides	بولندا

ملاحظة: مكان الشراء حسب طلب المستشفى من مدينة مصراة/ ليبيا

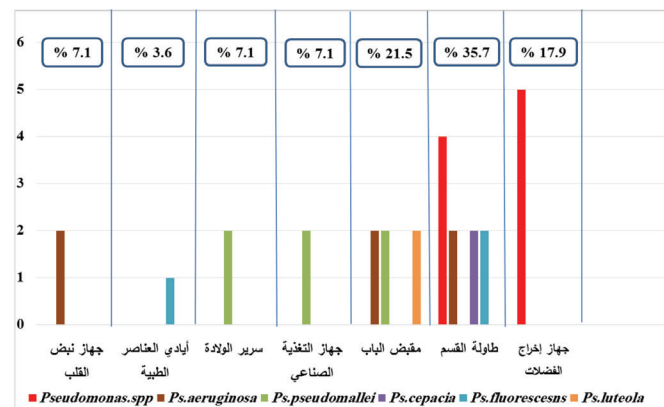
3- النتائج والمناقشة

من خلال النتائج الظاهرة بعد زراعة وتشخيص العينات المعزولة، تم الحصول على 28 عزلة من مجموعة البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*)، تمثلت في الأنواع التالية: (*Pseudomonas spp*) بنسبة 32%، و(*Pseudomonas aeruginosa*) بنسبة 22%، كما كانت نسبة وجود النوع (*Pseudomonas pseudomallei*) هي 2%، والنوع (*Pseudomonas fluorescens*) 11%، والنوعين (*Pseudomonas cepacia*) و(*Pseudomonas luteola*) بنسبة 7% لكل منهما، كما يبين الشكل (1).



الشكل 1. نسبة أنواع البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*) المعزولة.

كما أظهرت النتائج توزيع وجود هذه البكتيريا حسب أماكن أخذ العينات داخل قسم الولادة ووحدة العناية المركزة للأطفال؛ حيث كان أعلى وجود للبكتيريا (*Pseudomonas spp*) في جهاز إخراج الفضلات للحاضنات وطاولة القسم، في حين لوحظ وجود النوع البكتيري (*Pseudomonas aeruginosa*) على طاولة القسم ومقبض باب القسم وجهاز نبض القلب، ووجد النوع (*Pseudomonas pseudomallei*) على مقبض باب القسم وجهاز التغذية الصناعي وسرير الولادة، أما النوع البكتيري (*Pseudomonas fluorescens*) فوجد على طاولة القسم وأيدي العناصر الطبية وكان أعلى وجود لها على طاولة القسم، ولوحظ أيضاً وجود النوع (*Pseudomonas cepacia*) على طاولة القسم فقط، والنوع (*Pseudomonas luteola*) على مقبض باب القسم فقط. وعند حساب نسبة التلوث بالبكتيريا في أماكن أخذ العينات تبين أن أكثر نسبة تلوث كانت على طاولة القسم بنسبة 35.7%، يليها مقبض الباب بنسبة 21.5%، ثم جهاز إخراج الفضلات بنسبة 17.9%، ثم كل من جهاز التغذية الصناعي وسرير الولادة وجهاز نبض القلب بنسب متساوية بلغت 7.1%، وكانت أقل نسبة تلوث على أيدي العناصر الطبية بنسبة 3.6%، كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل 2. توزيع وجود أنواع البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*) حسب أماكن أخذ العينات.

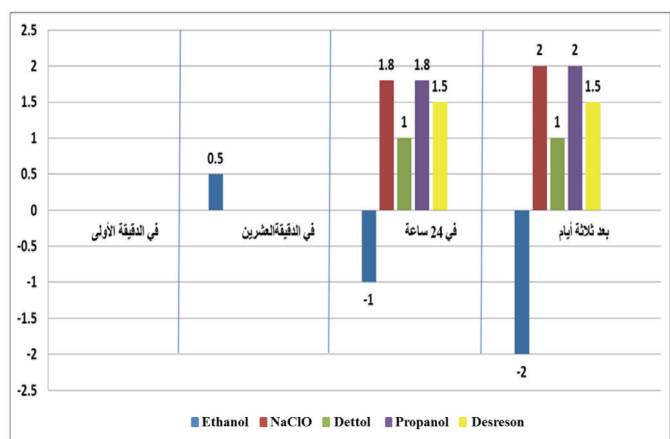
وبعد اختبار المعقمات والمطهرات على هذه الأنواع البكتيرية، لوحظ عدم تأثير جميع هذه الأنواع بأي نوع من أنواع المطهرات في الدقائق الأولى، وكان أول تأثير ظهر في الدقيقة 20 لبعض هذه المطهرات على بعض أنواع البكتيريا ومن أبرزها تأثير كل من (*Desreson*) و(*Cidex*) و(*Decosept*) في النوع البكتيري (*Pseudomonas pseudomallei*) بقطر هالة تثبيط تراوح من 1 إلى 2.5 سم، كذلك تأثير مطهر (*Cidex*) في النوع البكتيري (*Pseudomonas cepacia*) بقطر هالة تثبيط 2 سم، وفي النوع (*Pseudomonas fluorescens*) بقطر هالة تثبيط بلغ 1.5 سم، كما في الجدول (2).

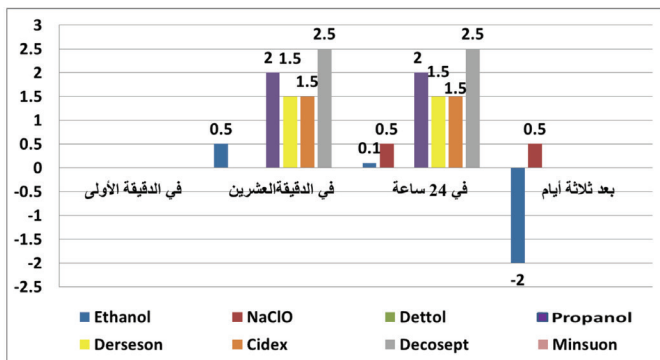
الجدول 2. تأثير بعض المطهرات في أنواع البكتيريا الزائفة بعد 20 دقيقة.

البكتيريا (P= Pseudomonas)	Ethanol alcohol	NaClO	Dettol	Propanol AF	Desreson AF	Cidex	Decosept	Minuson AF
<i>Pseudomonas.spp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P.aeruginosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P.pseudomallei</i>	-	-	-	-	1.5 سم	1 سم	2.5 سم	-
<i>P. cepacia</i>	-	-	-	-	-	2 سم	-	-
<i>P. fluorescens</i>	-	-	-	-	-	1.5 سم	-	-
<i>P. luteola</i>	-	-	-	-	-	-	-	-

كما لوحظ من النتائج الواردة في الجدولين (2 و3) عدم تأثير البكتيريا (*Pseudomonas spp*) في الدقيقة الأولى، وكذلك في الدقيقة 20، مع تأثير ملحوظ لكل من (*NaClO*) و(*Propanol*) و(*Desreson*) فيها بعد يوم وثلاثة أيام، وتراوح قطر هالة التأثير من 1.8-2 سم، مع تأثير خفيف لمعقم (*Dettol*) فيها في الفترة الزمنية نفسها، ونقص تأثير معقم (*Ethanol*)، كما في الشكل (3).

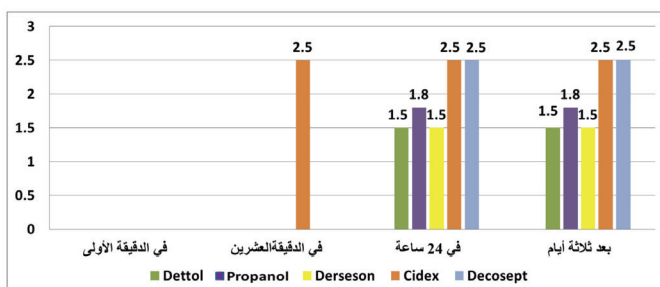
الشكل 3. تأثير المطهرات والمعقمات في بكتيريا (*Pseudomonas spp*) حسب الزمن.





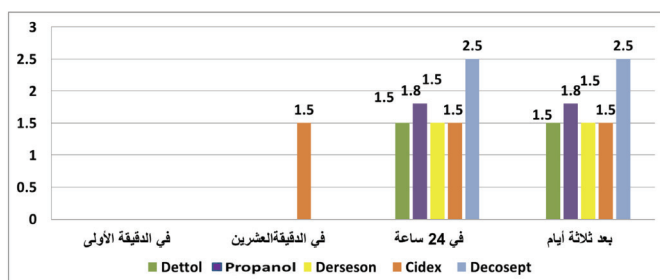
الشكل 5. تأثير المعقمات في بكتيريا (*Pseudomonas pseudomallei*) والزمن المستغرق

في حين ظهر على النوع (*Pseudomonas cepacia*) تأثير لمعقم (Cidex) في الدقيقة 20 بقطر هالة 2.5 سم، واستمر بالتأثير نفسه حتى اليوم الثالث، وكذلك تأثير واضح لبعض المعقمات مثل (Dettol) بقطر هالة تثبيط 1.5 سم، و(Propanol) بقطر هالة 1.8 سم، و(Decosept) بقطر هالة 2.5 سم، و(Desreson) بقطر هالة 1.5 سم بعد 24 ساعة إلى ثلاثة أيام، مع انعدام أي تأثير للمطهرات الأخرى في أي زمن، كما في الشكل (6) والجدولين (2 و3).



الشكل 6. تأثير المعقمات في بكتيريا (*Pseudomonas cepacia*) حسب الزمن المستغرق

أما تأثير هذه المعقمات والمطهرات في النوع (*Pseudomonas fluorescens*)، فظهر بعد 24 ساعة واستمر حتى اليوم الثالث بفعل كل من (Dettol) بقطر هالة تثبيط 1.5 سم، و(Propanol) بقطر هالة 1.8 سم، و(Decosept) بقطر هالة 2.5 سم، و(Desreson) بقطر هالة 1.5 سم، و(Cidex) بقطر هالة 1.5 سم، وكذلك تأثير واضح لمعقم (Cidex) في الدقيقة 20 بقطر هالة تثبيط 1.5 سم، مع انعدام أي تأثير من أي معقم آخر وفي أي زمن، كما في الشكل (7) والجدولين (2 و3).



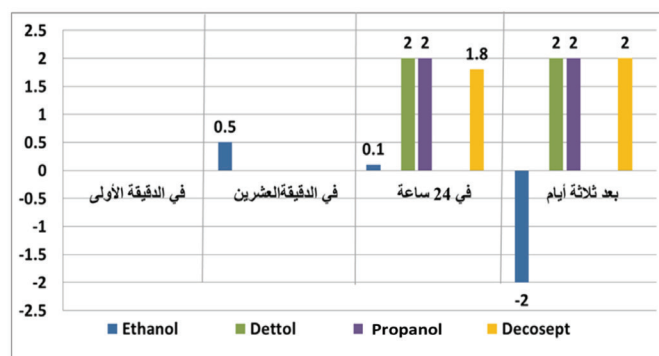
الشكل 7. تأثير المعقمات في بكتيريا (*Pseudomonas fluorescens*) حسب الزمن المستغرق.

البكتيريا	Ethanol	NaClO	Dettol	Propanol AF	Desreson AF	Cidex	Decosept	Minuson AF
<i>Pseudomonas.spp</i>	—	1.3 cm	1.5 cm	1 cm	1.3 cm	—	—	—
<i>P. aeruginosa</i>	↑	—	1.8 cm	1.8 cm	—	—	—	—
<i>P. pseudomallei</i>	↑	0.5 cm	—	1.7 cm	—	2.0 cm	—	—
<i>P.cepacia</i>	—	—	1.4 cm	2.5 cm	2.0 cm	2.0 cm	2.5 cm	—
<i>P.fluorescens</i>	—	—	1.5 cm	1.8 cm	1.5 cm	1.5 cm	2.5 cm	—
<i>p.luteola</i>	↑	—	1.3 cm	1.4 cm	—	—	—	—

السهم يمثل زيادة النمو للبكتيريا

الجدول 3. تأثير بعض المطهرات في أنواع البكتيريا الزائفة بعد 24 ساعة.

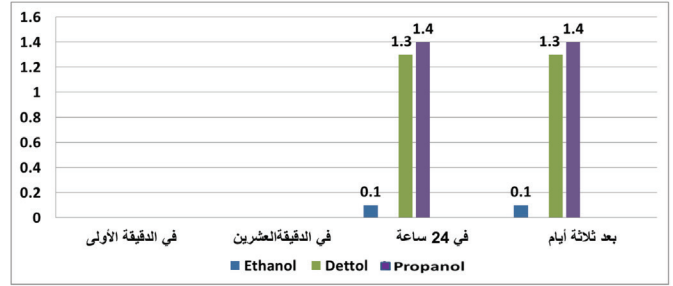
أما بالنسبة إلى بكتيريا (*Pseudomonas aeruginosa*)، كان تأثير كل من (Dettol) و(Propanol) و(Decosept) واضحًا في اليومين الأول والثالث، وتراوح قطر هالة التثبيط من 1.8-2 سم، بتأثير خفيف لمعقم (Ethanol) في الدقيقة 20 وكذلك بعد 24 ساعة، وانعدام حساسية هذا النوع لباقي المعقمات والمطهرات في أي زمن، وتأثير سلبي لمطهر (Ethanol) في اليوم الثالث، والذي ظهر بشكل نمو بكتيري واضح للمستعمرات على منطقة هذا المعقم، وعدم ظهور أي تأثير للمطهرات في الدقائق الأولى، والذي تطابق بعض الشيء بدراسة سابقة أكدت مقاومة هذه البكتيريا للإيثانول بجميع التراكيز،²⁷ كما في الشكل (4) والجدولين (2 و3).



الشكل 4. تأثير المطهرات والمعقمات في بكتيريا (*Pseudomonas aeruginosa*) حسب الزمن.

وفي البكتيريا (*Pseudomonas pseudomallei*)، لم تظهر هذه المطهرات أي تأثير في الدقائق الأولى حتى الدقيقة 20، بعدها برز تأثير كل من (Decosept) بقطر هالة 2.5 سم، و(Propanol) بقطر هالة 2 سم، و(Desreson) بقطر هالة 1.5 سم، وكذلك (Cidex) بقطر هالة 1.5 سم، واستمر التأثير حتى اليوم الثالث، في حين تبين تأثير خفيف لمعقم (Ethanol) في الزمن نفسه، مع ملاحظة عدم فاعلية باقي المطهرات والمعقمات المستخدمة في هذه البكتيريا، كما يوضح الشكل (5) والجدولان (2 و3).

أما النوع البكتيري (*Pseudomonas luteola*) فأظهر حساسيته لكل من (Dettol) بقطر هالة 1.3 سم، ولمعقم (Propanol) بقطر هالة 1.4 سم بعد 24 ساعة وحتى ثلاثة أيام، مع تأثير خفيف لمعقم (Ethanol) في الزمن نفسه، كما لوحظ انعدام أي تأثير لباقي المطهرات والمعقمات في أي زمن، كما هو موضح في الشكل (8) والجدولين (2 و3).



الشكل 8. تأثير المعقمات في بكتيريا (*Pseudomonas luteola*) حسب الزمن.

من ناحية أخرى، لوحظ ظهور تأثير سلبي لمطهر (Ethanol) وأصبح عاملاً محفزاً للنمو بالنسبة إلى الأنواع البكتيرية (*Pseudomonas spp*) و(*Pseudomonas aeruginosa*) و(*Pseudomonas pseudomallei*)، حيث كما في الأشكال (3 و4 و5)، أخذ الاتجاه العكسي تحت مستوى درجة الصفر للمحور الأفقي الذي هو بمنزلة تراجع لتأثير هذا المطهر نتيجة لمقاومة هذه الأنواع البكتيرية، وساهم في زيادة نمو المستعمرات لهذه الأنواع وخصوصاً بعد 24 ساعة كما موضح أيضاً في الجدول (3). ونظراً إلى قلة الدراسات على اختبار هذه الأنواع من المطهرات على كل جنس من أجناس بكتيريا (*Pseudomonas*) على حدة، فقد كانت الدراسة الداعمة لهذه النتائج، بوجه عام، هي الدراسة التي أجريت على العديد من المطهرات والمعقمات المستخدمة في المجال الطبي في ماليزيا، وتأثيرها في نمو أجناس بكتيريا (*Pseudomonas spp*) في العديد من هذه المطهرات والمعقمات، ما يؤكد خطورة هذه الأجناس البكتيرية ومدى مقاومتها للمطهرات والمعقمات.²⁸

4- الخاتمة

من خلال هذه الدراسة، تبين لنا عدم فاعلية المطهرات والمعقمات المستخدمة ضد بكتيريا (*pseudomonas*) بأنواعها في وقت مبكر وسريع، ما يعتبر نقطة سلبية في مجال مكافحة العدوى والحد من التلوث البكتيري. كذلك من المفيد إيجاد بدائل إما بإجراء الدراسات اللازمة لتغيير تركيز أو تركيب بعض هذه المعقمات من الناحية الكيميائية وإما النظر في جودة المنتج من حيث التخزين والتداول وصحة الشركة المصنعة ومصدرها، كما يستوجب استبدال هذه المعقمات في حال انعدام أو نقص فاعليتها بأخرى ذات فاعلية أفضل، مع التأكيد على عدم الاستمرار في استخدام النوع نفسه فترة طويلة للحد

من المقاومة البكتيرية لها. كذلك لوحظ تأخر في العامل الزمني بالنسبة إلى المعقمات والمطهرات، حيث أظهرت أغلب هذه المطهرات تأثيراً بعد 24 ساعة، ما يستوجب إعادة النظر في ترتيب عامل الوقت بالنسبة إلى التعقيم، كذلك النظر في تركيب وتركيز هذه المواد التي ترد في عبوات مركزة للقطاع الصحي. ولوحظ أيضاً عدم كفاءة بعض هذه المواد ضد هذه البكتيريا، ولم تعطى تأثيراً فعالاً مثل (Minuson) و(NaClO) و(Ethanol)، ومن ثم ضرورة استبعاد هذه المواد في الوقت الحالي لأن البكتيريا كوّنت مقاومة ضدها، كما أظهر مطهر الإيثانول (Ethanol) على بعض الأنواع زيادة في نمو البكتيريا، ومن ثم أصبح هذا المطهر جزءاً من متطلبات النمو لهذه الأنواع البكتيرية، ما يعدّ خطيراً في مجال التعقيم ومكافحة العدوى، مما يستوجب ضرورة اتخاذ الإجراءات اللازمة لتفادي حدوث العدوى وتفاقم المشكلة وزيادة نسبة الإمبراضية والوفيات.

5- التوصيات

- زيادة كفاءة التعقيم الشامل للمستشفيات من خلال اختيار معقمات ومطهرات ذات جودة عالية وتحت إشراف كوادرات متخصصة في هذا المجال، واستبدال المطهرات والمعقمات من حين إلى آخر لتفادي المقاومة البكتيرية.
- تفعيل دور مكاتب وأقسام وإدارات مكافحة العدوى في المستشفيات والقطاع الصحي وتوفير الإمكانات اللازمة لها.
- اعتماد الخطط والاستراتيجيات الكفيلة بضمان جودة التعقيم والمطهرات وتنفيذها والحرص عليها أولاً بأول.
- التوعية والتثقيف الصحيين بأساسيات التعقيم والمحافظة على الأماكن والأدوات المعقمة، وكذلك بالحدود والضوابط الصحية في التعامل مع المريض والبيئة المحيطة به لضمان سلامة الجميع.
- وفي الختام، تجدر الإشارة إلى أن هذه الدراسة ركزت على المستشفى المركزي في مدينة مصراتة (ليبيا)، لأن أغلب الولادات الحديثة تكون في هذا المستشفى، لذا فهي الأنسب للحصول على أكثر عدد من العينات، في حين كان التركيز على وحدة العناية المركزة للأطفال وهو المكان المخصص للأطفال حديثي الولادة، ومن ثم فإن جهازهم المناعي في طور النمو، حيث تحتاج هذه الفئة إلى رعاية وحماية من العدوى. أما أنواع البكتيريا التي ركزت عليها هذه الدراسة فهي البكتيريا الزائفة (*Pseudomonas*) لما لها من أهمية طبية في إحداث العدوى والمقاومة، وكذلك لنقص الدراسات عليها وهو القيد الأساسي الذي واجهنا في هذه الدراسة، ونأمل أن تكون مفتاحاً ومرجعاً لغيرها من الدراسات. وبناء عليه، نؤكد على إجراء البحوث والدراسات، وكذلك تنظيم المؤتمرات والندوات دورياً، وخصوصاً في هذا المجال لما لها من أهمية كبيرة في حل المشاكل والعقبات، ويسهم في تطور الرعاية الصحية.

1. Quinn MM, Henneberger PK, Braun B, Delclos GL, Fagan K, Huang V, et al. Cleaning and disinfecting environmental surfaces in health care: Toward an integrated framework for infection and occupational illness prevention. *American Journal of Infection Control*. 2015;43(5):424–434.
2. Al-Tawfiq JA, Tambyah PA. Healthcare associated infections (HAI) perspectives. *Journal of Infection and Public Health*. 2014;7:339–344.
3. World Health Organization. Global Guidelines for the Prevention of Surgical Site Infection; 2016. Available from: http://www.who.int/about/licensing/copyright_form.
4. Hota B. Contamination, Disinfection and Cross-Colonization: Are Hospital Surfaces Reservoirs for Nosocomial Infection?. *Health Care Epidemiology, Clinical Infectious Diseases*, 2004 Oct 15;39(8):1182–9.
5. Polin RA and Saiman L. Nosocomial infections in the neonatal intensive care unit, *NeoReviews*, An official Journal of the American Academy of Pediatrics, 2003;4(3):e81–e89.
6. Dennis R, David H, Robert P. Major trends in the microbial etiology of nosocomial infection. USA: Elsevier; 2017.
7. Cross A, Allen JR, Burke J, Duce G, Harris A, John J, Johnson D, Lew M, MacMillan B, Meers P, Skalova R, Wenzel R and Tenney J. Nosocomial infection due to *Pseudomonas aeruginosa*: Review of recent trends. *Reviews of Infectious Diseases*. JSTOR, Published By: Oxford University Press, 1983;5(5):S837–S845 (9 pages). <https://www.jstor.org/stable/4453236>
8. Ahmed BM, Wafaa AZ, Ghada RH, Aza ZL, Rasha G. Prevalence of Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* in Patients with Nosocomial Infections at a University Hospital in Egypt, with Special Reference to Typing Methods. *IBIMA Publishing, Journal of Virology & Microbiology*, Vol. 2013 (2013), Article ID 290047, 13 pages.
9. Michael JR, Jonathan RE, David HC, Robert P. Nosocomial infection in pediatric intensive care units in the United States. *American Academy of Pediatrics*. 1999;103(4): e39. DOI: <http://pediatrics.aappublications.org/content/103/4/e39>
10. Isles A, Maclusky I, Corey M, Gold R, Prober C. *Pseudomonas cepacia* infection in cystic fibrosis: An emerging problem. *Journal of Pediatrics*. 1984;104(2):206–210.
11. Public Health Agency of Canada. Pathogen Safety Data Sheets: Infectious Substances – *Pseudomonas* spp. 2011. <https://www.canada.ca/en/public-health/services/laboratory-biosafety-biosecurity/pathogen-safety-data-sheets-risk-assessment/pseudomonas.html>
12. Ali F, Maryam E. The disinfectant effects of benzalkonium chloride on some important foodborne pathogens. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2012;12(1):23–29.
13. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC); 2019 [accessed 2019 January 23]. PIIS, 1473-3099(18)30605-4.
14. Italian Prevalence Study on Infections Related to the Assistance and Use of Antibiotics in Acute Care Hospitals—ECDC Protocol, Italian Report PPS2, 2017; p. 2.
15. A Centers for Disease Control and Prevention. Guidance document Disinfection and sterilization in healthcare facilities; 2008.
16. Larson EL, Morton HE. Alcohols. In: Block, S.S., Ed., *Disinfection, Sterilization, and Preservation*, 4th Edition, Lea and Febiger, Philadelphia, 1991. pA: 191–203.
17. Raut G, Vanmali H, Pimpliskar M, Rahul J. Efficacy of some antiseptics and disinfectants: A review. *International Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Research [Internet]*. 2015;4(4):182–197. Available from: www.ijppr.humanjournals.com.
18. Divya G, Vinoth kumar S, Sankar VA, Kirthika M. Detection of the most effective disinfectant against MDR bacteria in hospital infections. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences, (IJBPAS)*, April, 2015, 4(4): 1939–1999.
19. Russell AD. Activity of biocides against mycobacteria. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*. 1996;81:87–101.
20. Paul M, Shani V, Mucihitar E, Kariv G, Robenshtok E, Leibovici L. Systematic review and meta-analysis of the efficacy of appropriate empiric antibiotic therapy for sepsis. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2010;54:4851–4863.
21. Laxminarayan R, Duse A, Wattal C, Zaidi AK, Wertheim HF, Sumpradit N, et al. Antibiotic resistance—the need for global solutions. *Lancet Infectious Diseases*. 2013;13:1057–1098.
22. West AM, Teska PJ, Lineback CB, Oliver HF. Strain, disinfectant, concentration, and contact time quantitatively impact disinfectant efficacy. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*. 2018;7:49.
23. Wladyslaw JK. Hospital acquired infections: The epidemiology and aerobiological pathways of air borne Nosocomial infection and methods of air and surface disinfection. New York, USA: Penton Media; 2007.
24. Akolaibe AM, Al-Ameri GA, Alkadasi MN. Study of the efficacy of disinfectant against bacterial contamination in burns unit alghumhory and International Yemen Hospitals in Taiz City. *International Journal of Research Studies in Biosciences (IJRSB)*. March 2015;3(3):26–33.
25. Cordoba LK, Mosquera LL, Tarazona-Diaz GP, Arias-Palacios JD. Evaluation of the efficacy of a hydrogen peroxide disinfectant. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2018;10(10):104–108.
26. Mete A. Antibacterial efficacy of some antiseptics and disinfectants against common bacterial agents isolated from horses in Turkey. *Acta Veterinaria Eurasia*. 2019;45:101–107.
27. Al-Talib H, Alkhateeb A, Ruzuki A, Zulkifil N, Hamizi S, Muhammad N, et al. Effectiveness of commonly used antiseptics on bacteria causing nosocomial infections in tertiary hospital in Malaysia. *African Journal of Microbiology Research*. 2019;13(10):188–194.
28. Keah KC, Jegathesan M, Tan SC, Chan SH, Chee OM, Cheong YM, Suleiman AB. Bacterial contamination of hospital disinfectants. *Medical Journal Malaysia*. 1995 Dec;50(4): 291–7.

ورقة مراجعة

مراقبة الأدوية العلاجية، الأساسيات والتحسين (مراجعة الخبراء)

أحمد شاكر علي^{1,2*}، و مهران شاكر عبد الرحمن^{3,4}

¹ قسم علم الأدوية، كلية الطب، جامعة الملك عبد العزيز، السعودية

² قسم الصيدلانيات، كلية الصيدلة، جامعة أسيوط، مصر

³ قسم علم الأدوية، كلية الطب، جامعة أسيوط، مصر

⁴ قسم علم الأدوية، كلية الصيدلة، جامعة سفنكس، مدينة أسيوط الجديدة، مصر

* Profahmedali@gmail.com

الملخص

مراقبة الأدوية العلاجية هي خدمة سريرية تهدف إلى الاستخدام الأمثل للأدوية ذات النطاق العلاجي الضيق أو لها حركية دواء معقدة، وتشمل قياس تركيز الدواء في المصل أو الدم في العينات المأخوذة في أوقات مناسبة ومعلومة. ومن خلال فهم متعمق لخصائص الأدوية التي تم قياسها، ودراسة ملف المريض، يمكن تفسير تركيز الدواء في الدم لاستنباط الجرعة المثلى وفقاً لاحتياجات المريض الفردية. يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على أساسيات الخدمة وتقديم اقتراحات لتحسينها، وخاصة في الدول النامية. ويقدم إرشادات عملية تضمنت تصميم النماذج لطلب الخدمة، وأخذ العينات في الوقت الأمثل، واستخدام طرق التحليل المناسبة، ويعرض أيضاً توجيهات للتفسير المناسب للنتائج؛ وتكامل أدوار الفريق الطبي؛ والتعليم المستمر وتنمية المهارات. كما أوصى البحث بإشراك المرضى في تحسين الخدمة وإجراء البحوث ذات الصلة؛ واستخدام برنامج حاسوب لحركية الدواء والتكامل بين قياس الدواء وعلم الأدوية الجيني.

الكلمات المفتاحية: مراقبة الأدوية العلاجية، حركية الدواء السريرية، الجرعات المثلى، الأدوية ذات النطاق العلاجي الضيق.

Title

Therapeutic drug monitoring: fundamentals, and optimization (Perspective Review)

Ahmed S. Ali^{1,2*}, Mahran S. Abdel-Rahman³

¹ Dept of Pharmacology, Faculty of Medicine, King Abdulaziz University, KSA

² Dept of Pharmaceutics, Faculty of Pharmacy, Assiut University, Egypt

³ Dept of pharmacology, Faculty of Medicine, Assiut University, Egypt

⁴ Dept of Pharmacology and Toxicology, Faculty of Pharmacy, Sphinx University, New Assiut City, Egypt

Abstract

Therapeutic drug monitoring (TDM) is a teamwork clinical pharmacokinetic service that aims to optimize the pharmacotherapy of certain drugs such as those with a narrow therapeutic range, complicated pharmacokinetics. It involves the determination of drug levels in blood samples taken at the appropriate time. Interpretation of results requires the integration of pharmacokinetics, the pharmacodynamics of the drug, and the patient's clinical profile. To be cost-effective, the service should be optimized. This review highlights the fundamentals of TDM service and provides practical suggestions for its optimization specially in developing countries. It covers the rationale of requesting drug level, design of request form, optimal sampling, and analytical tools. It provides guidelines for appropriate interpretation of drug levels, completeness of the roles of the qualified medical team, continuing education and skills development, involving the patients in improving the service, conducting relevant research, and the use of PK software and integration of TDM with pharmacogenomics.

Keywords: Therapeutic drug monitoring, clinical pharmacokinetics, optimal dosing, drugs with the narrow therapeutic range.

Received 23 April 2021; accepted 05 October 2021; published 21 November 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Ali AS, Abdel-Rahman MS. Therapeutic drug monitoring: fundamentals and optimization. (Perspective Review).

Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.12. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.12>

المبرر	أمثلة
المجال العلاجي الضيق	الليثيوم والفينيتوين والديجوكسين
الحرائك الدوائية المعقدة	الفينيتوين
الأدوية التي يصعب التكهن بفاعليتها سريريًا	الأدوية المثبطة للمناعة، وبعض المضادات الحيوية
ضعف وظائف الكلى	الديجوكسين، الجنتاميسين
الشك في الامتثال للنظام العلاجي	أدوية الصرع
في حالة الاشتباه في سمية الدواء	الليثيوم، الديجوكسين، الباراسيتامول
لتعديل النظام العلاجي بسبب التداخلات الدوائية	عند استخدام مثبطات المناعة مع بعض مضادات الفطريات مثل الكيتوكونازول
في حالة الاشتباه في الفشل العلاجي	بعض مضادات الفيروسات لعلاج مرض نقص المناعة

الجدول 2. قائمة الأدوية لمراقبة الأدوية العلاجية.

عقاقير تتم مراقبتها بشكل شائع. ^{1, 2, 24}	
الأدوية الفعالة للقلب	الديجوكسين، أميودارون
مضادات حيوية	جنتاميسين، أميكاسين، توبراميسين، فانكوميسين
الأدوية المضادة للصرع	الفينيتوين، الفينوباربيتون، حمض الفالبرويك، كاربامازيبين، كلونايزيام
موسعات الشعب الهوائية	ثيوفيلين
مثبطات المناعة	السيكلوسبورين، التاكلوريماس
العلاج الكيميائي للسرطان	ميثوتريكسات
مسكنات	أسيترامينوفين، أسبرين
مضادات الذهان أو الاكتئاب	مضادات الاكتئاب ثلاثية الحلقات، الليثيوم
قائمة الأدوية الأخرى المرشحة لمراقبة الأدوية العلاجية ⁹⁻²¹	
الأدوية المضادة لمرض السل	أيزونيايد، ريفامبيسين
الأدوية الحيوية لمرض التهاب الأمعاء	إنفليكسيماب، أداليموماب
الأدوية لعلاج الذئبة الحمامية الجهازية	هيدروكسي كلوروكوين، ميكوفينولات موفيتيل
الأدوية المضادة للفطريات	فلوسيتوزين، إيتراكونازول، فوريكونازول، بوساكونازول
مضادات الذهان غير النمطية	إيلوبيريدون، وأسينابين، ولوراسيدون
مضادات الصرع الجديدة	لاموتريجين، ليفيتيراسيتام، أوكسكاربازيبين، توبيراميت، بريفارسيتام، زونيساميد، بروجالين
الأدوية المضادة للفيروسات	التجافير، مارافيروك

تعد مراقبة الأدوية العلاجية خدمة سريرية تهدف إلى الاستخدام الأمثل للأدوية ذات النطاق العلاجي الضيق أو التي تعاني من حركية دواء معقدة، وهي تشمل: قياس تركيز الدواء في المصل أو الدم في العينات المأخوذة في أوقات مناسبة ومعلومة بعد تناول الدواء. ومن خلال فهم الملف الدوائي للأدوية التي تم قياسها، ودراسة الملف الشخصي للمريض (البيانات الديموغرافية، والحالة السريرية، والفحوصات المخبرية وغيرها)، يمكن تفسير تركيز الدواء في الدم لاستنباط الجرعة المثلى التي يتم تحديدها وفقًا لاحتياجات المريض الفردية،¹ ويجب اعتبار هذه العناصر متكاملة.

والجدير بالذكر أن استخدام هذه الخدمة على نحو صحيح يسهم إيجابيًا في تحقيق فاعلية العلاج وتقليل حدوث الآثار الضارة.¹ وتشمل فوائد مراقبة الأدوية العلاجية توفيرًا كبيرًا في نفقات العلاج.² كما تفيد الأطباء في اتخاذ القرارات السريرية المناسبة، مثل وضع النظام العلاجي الأفضل لمريض الصرع.³ وفي هذا السياق، يحتاج مريض زراعة الأعضاء إلى استخدام الأدوية المثبطة للمناعة مدى الحياة، لذلك يُوصى بمتابعة تركيزاتها في الدم لضبط الجرعات المناسبة لكل مريض.⁴ كما تتيح هذه الخدمة الاستخدام الأمثل لبعض المضادات الحيوية مثل الجنتاميسين،⁵ والفانكوميسين،⁶ وأيضًا مضادات حيوية أخرى للمرضى تحت الرعاية المركزة، ومنهم كبار السن وحديثو الولادة.⁷⁻⁸ والجدير بالذكر أن مراقبة الأدوية العلاجية تتوسع باستمرار لتشمل بعض الأدوية الحديثة لأمراض مختلفة مثل الصرع،⁹ ومضادات للفطريات الجهازية،¹⁰ ومضادات الذهان،¹¹ وأدوية الأورام،¹² وبعض الأدوية للأمراض المناعية مثل إنفليكسيماب (علاج التهاب المفاصل الفقاري)،¹³ وفيدوليزوماب ومستحضرات بيولوجية أخرى لعلاج مرض التهاب الأمعاء التقرحي،¹⁴⁻¹⁸ والذئبة الحمامية الجهازية،¹⁹ والصدفية،²⁰ والأجسام المضادة وحيدة النسيلة.²¹ كما استخدمت مراقبة الأدوية العلاجية مؤخرًا لمتابعة تركيز بعض الأدوية في مريض كوفيد-19 مثل الرمديسفير،²² والهيدروكسي كلوروكوين.²³

2- تحسين خدمة مراقبة الأدوية العلاجية

لا شك في أن مراقبة الأدوية العلاجية تعدّ من الخدمات المعتمدة في الممارسة السريرية، لكنها تحتاج إلى التحسين المستمر لضمان أفضل النتائج. وفي ما يلي إرشادات عملية لتحقيق هذا الهدف المنشود وخاصة في الدول النامية.

1-2 وجود مبررات واضحة لقياس تركيز الدواء في الدم

ينبغي وجود هدف واضح لطلب تحليل تركيز الدواء في الدم، مثل الاشتباه في وجود تسمم، أو زيادة الجرعات أو تقييم امتثال المريض للنظام العلاجي (انظر الجدول 1).

2-2 تصميم نموذج مناسب لطلب التحليل

من الضروري تصميم نموذج طلب خاص بمراقبة الأدوية العلاجية لتفسير النتائج بدقة، ويجب أن يحتوي نموذج الطلب على جميع المعلومات ذات الصلة (الجدول 3).

الجدول 3. البيانات الأساسية في نموذج طلب تحليل الأدوية.²⁵

1.	التاريخ، رقم ملف المريض، رمز تعريف العينة، الوحدة ... إلخ.
2.	مبررات للاختبار (مثل السمية وعدم الامتثال للنظام العلاجي).
3.	متى أُخذت العينة؟
4.	متى أعطيت آخر جرعة؟
5.	نظام الجرعات (الجرعة، المدة، الشكل الصيدلاني).
6.	معلومات خاصة بالمريض (العمر / الجنس) والوزن.
7.	أدوية أخرى يتعاطاها المريض.
8.	الأمراض المصاحبة الأخرى ذات الصلة (أمراض الكلى أو الكبد).
9.	أي ملاحظة إضافية: على سبيل المثال، الحمل، التدخين.

3-2 أخذ العينات بطريقة مثلى

1-3-2 وقت أخذ العينات

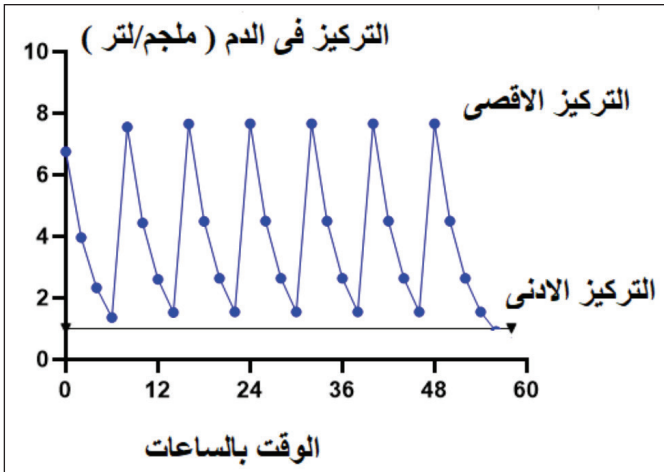
في معظم الحالات، لا ينبغي جمع عينات الدم حتى تصل التركيزات إلى حالة مستقرة. وبالنسبة إلى معظم الأدوية، يتم تحقيق ذلك بعد مرور زمن يعادل 4-5 أضعاف نصف عمر الدواء في الدم. من المتطلبات الأساسية لبعض الأدوية أخذ العينة في وقت محدد بعد آخر جرعة كما هو موضح أدناه.²⁷⁻²⁴

1. التركيز الأعلى والأدنى في أوقات محددة بعد تعاطي الجرعة بالحقن الوريدي : أمينوغلايكوسيدات (الشكل 1).
2. بعد ساعتين من تعاطي الجرعة (بالفم): السيكلوسبورين ، حيث أكدت الدراسات وجود علاقة جيدة للتركيز المقاس في هذه العينة مع المساحة الواقعة تحت منحنى تركيز الدواء مقابل الوقت (الشكل 2).
3. ما لا يقل عن 6 ساعات بعد الجرعة: الديجوكسين ، حيث يوصى بتجنب أخذ العينات أثناء مرحلة انتشار الدواء لأنها تعطي نتائج مضللة .
4. الوقت المحدد الذي تم تناوله فيه العينة قياسًا من وقت تعاطي دواء الأسيتامينوفين (عند الاشتباه في السمية).
5. الوقت المحدد سلفًا بعد الجرعة: الميثوتريكسات (24، 48، 72 ساعة).

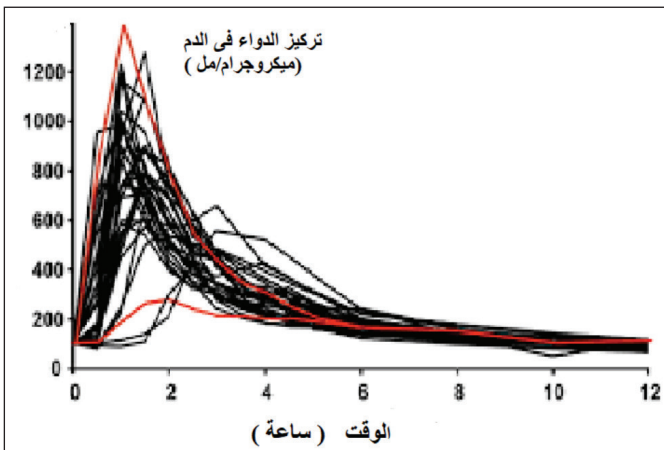
2-3-2 أنواع العينات

تسمح معظم فحوصات قياس مستويات الدواء باستخدام المصل أو البلازما. وتوصي إرشادات مراقبة الأدوية العلاجية عادةً بتجنب أنابيب فصل المصل (المحتوية على جل) لأنها قد تخفف تركيزات الدواء عن طريق ادمصاص الدواء. وبالنسبة إلى دواء السيكلوسبورين، تتطلب بعض الطرق جمع الدم. وحيث تتأثر بعض الطرق التحليلية بدرجة حرارة العينة، فيجب توحيد جميع المتغيرات.²⁴ وقد أشارت دراسات حديثة نسبيًا إلى إمكانية استخدام بقعة الدم الجافة لتحليل الأدوية المثبطة للمناعة، والأدوية المضادة للسرطان، ومضادات السل، والأدوية المضادة للسرطان، والأدوية المضادة للذهان.³³⁻²⁸ وقد تم اقتراح تقنيات حديثة لأخذ العينات الصغيرة (VAMS) بدلاً من أخذ العينات التقليدي، من أجل مراقبة الأدوية العلاجية والتجارب السريرية

أثناء جائحة كوفيد-19. وتتضمن تقنية (VAMS) إجراءً بسيطاً لأخذ العينات يمكن عمله في المنزل، ويكون حجم العينة صغيراً، ويمكن فيها التخزين والتوزيع في درجة الحرارة العادية. كما تمتص تقنية (VAMS) حجمًا ثابتًا، وتعزز الدقة والطرق التحليلية وتقلل من تأثير الهيماتوكريت.³⁴



الشكل 1. محاكاة التركيز الأقصى والأدنى للجنتاميسين في الدم بعد الحقن الوريدي المتكرر (التركيز الأقصى بعد انتهاء الحقن، التركيز الأدنى قبل الجرعة التالية مباشرة)



الشكل 2. التفاوت (بين المرضى) في التوافر الحيوي للسيكلوسبورين بعد تناوله عن طريق الفم

4-2 اختيار طرق التحاليل المناسبة

1-4-2 طرق التحاليل

ينبغي أن تكون طرق تحليل الأدوية دقيقة وسريعة لتناسب حالات الطوارئ وتوثيق كافة المعايير وتقييمها بانتظام. وتعدّ طرق التحليل التي تتيح استخدام عينات ضئيلة (30 ميكرو لترًا) من مصل الدم أو أقل هي الأنسب. لذلك، فإن تقنيات التحليل المناعية مثل المقاييس المناعية لاستقطاب التآلق (FPIA)، والمقاييس المناعية للإنزيم (EMIT)، والمقاييس المناعية المرتبطة بالإنزيم (ELISA) هي الطرق الأكثر استخدامًا. ومما ينبغي الإشارة إليه أن يكون العاملون في المختبرات على دراية بالعوامل التي تؤدي إلى تداخل مع التحاليل.³⁵ ومن الجدير بالذكر أن تقنيات الكروماتوغرافيا مثل (HPLC-MS / MS) أكثر دقة وتستخدم لمعايرة التقنيات الأخرى وتتيح قياس الأدوية في بقع الدم الجافة.^{32، 36-43}

يجب أن يضمن المختبر إجراء مراقبة الجودة المناسبة. كما يجب أن يكون فني المختبر على دراية بالتداخلات التحليلية. وفيما يخص بعض الأدوية، مثل السيكلوسبورين، يجب على المختبر ذكر الطريقة المستخدمة للتحليل (حيث يعتمد التركيز العلاجي المرجعي على الطريقة المستخدمة).^{44, 45}

3-4-2 تخفيض التكلفة

عمومًا، يعد تحليل الأدوية مكلّفًا مقارنة بمعظم التحليلات الكيميائية الحيوية الروتينية الأخرى، لذلك ينبغي بذل الجهود لتقديم خدمة جيدة بتكلفة معقولة، وفيما يلي بعض التوصيات لتحقيق ذلك: قياس العينات على دفعات كلما أمكن ذلك، واختيار تقنيات التحليل المناسبة لحجم العمل، والاستخدام الرشيد للخدمة،²⁴ وتوفير المعلومات السريرية للسماح بتفسير النتائج، وتوفير تقنيات مناسبة لقياس الدواء ونواتج الأيض، مع أمور أخرى مفصلة في هذه المراجع.⁴⁶⁻⁴⁸

5-2 التفسير المناسب للنتائج

5-2-1 المتغيرات التي تؤثر في تركيز الدواء في الدم

فيما يلي استعراض موجز لأهم المتغيرات الرئيسية.^{24, 49-51}

● الأيض إلى مركبات نشطة

يؤدي أيض بعض الأدوية إلى مركبات نشطة، لذلك عند تقييم التأثير العلاجي لهذه الأدوية، يجب أخذ ذلك في الاعتبار. على سبيل المثال، يتحول كاربامازيبين إلى مستقلب نشط (كاربامازيبين إيبوكسيد)، كذلك هناك نواتج الأيض النشطة لبعض المؤثرات العقلية والميثوتريكسات.^{9, 52, 53}

● حالات المرض

من المعروف أن بعض الأمراض الحادة أو المزمنة تغيّر أنماط التخلص من الأدوية، مثل أمراض الكبد الحادة والقصور الكلوي والفشل القلبي، كما أن المرضى الذين يعانون ضعفًا كلويًا حادًا لديهم مستوى منخفض من الألبومين، لذا يؤثر ذلك في نسبة الدواء الحر في الدم، وينعكس ذلك سريريًا على الأدوية شديدة الارتباط بالدم مثل الفينيتوين والوارفارين (زيادة الفاعلية واحتمال التسمم).⁵¹

● العمر

يحدث اختلافًا واضحًا في معاملات حركية الدواء والاستجابة السريرية للأدوية في الأطفال وكبار السن. فعلى سبيل المثال، يُظهر الأطفال حديثو الولادة حجمًا أعلى لتوزيع الأمينوغلايكوسيدات وزمن نصف العمر في الدم أطول مقارنة بالأطفال الأكبر عمرًا، كما يُظهر حديثو الولادة مسارًا أيضًا متغيرًا للثيوفيلين. ومن المعروف أن وظائف الكلى تنخفض عند المسنين، وينعكس ذلك على قلة تصفية الأدوية المعتمدة على التصفية الكلوية مثل الديجوكسين.⁵¹

● الحمل

سُجّلت زيادة في وتيرة النوبات الصرعية أثناء الحمل بنسبة عالية لدى المريضات المصابات بالصرع واللاتي يتعاطين الفينيتوين، وربما يكون ذلك بسبب زيادة الأيض، كما أن الحوامل لديهن حجم أكبر للتوزيع الظاهري للأدوية المحبة للماء مثل الأمينوغلايكوسيدات.⁵⁴

● متغيرات متنوعة

التدخين، وتركيب الأدوية (اختلاف الأشكال الدوائية)، والتداخل الدوائي مع الغذاء، وعوامل بيئية؛ كما يمكن أن تغيّر الساعة البيولوجية خصائص الحركية الدوائية لبعض الأدوية.⁵⁵

2-5-2 إرشادات عملية لتفسير النتائج

من المؤكد أن قياس مستوى الدواء في المصل من دون تفسير عديم الفائدة ويمكن أن يكون مضللًا. لذلك يجب تفسير تركيز الدواء في سياق البيانات السريرية ويشمل ذلك ما يلي:

- مراجعة الفحوصات والتشخيصات السريرية والمخبرية ذات الصلة مثل وظائف الكلى والكبد، ومتابعة قيم كيميائية حيوية معينة. يوضح الجدولان (3) و(4) الأمثلة على ذلك.
- استخدام النطاق المرجعي دليلًا، وليس قيمة مطلقة.²⁴ فعلى سبيل المثال، يعتمد التركيز الأعلى للجنتاميسين المستهدف على شدة الإصابة البكتيرية ونوع العدوى وموقع الإصابة والحالة المناعية.⁵⁶ وفي بعض الأحيان، يعتمد النطاق المرجعي للدواء على نوع المرض الذي وُصف من أجله الدواء، ومن أمثلة ذلك الكاربامازيبين الذي يستخدم لعلاج الصرع وله استخدامات أخرى منها تخفيف ألم الأعصاب.⁵¹ كما أن وجود تركيزات الأدوية ضمن النطاق العلاجي المعتاد لا يعني نفي سمية الدواء في جميع المرضى؛ مثلًا الديجوكسين، حيث تؤثر المتغيرات الفسيولوجية الأخرى (نقص بوتاسيوم الدم) في سمية الدواء.⁵⁷ ويجب أن نذكر أيضًا أن العديد من الآثار الجانبية قد تحدث مستقلة عن تركيز الدواء، مثل تضخم اللثة بعد استخدام الفينيتوين، وفقر الدم الحاد الناتج من استخدام الكاربامازيبين.⁵⁸

كما يجدر بالذكر أن العديد من العوامل تغير تركيز الدواء في الأعضاء أو الأنسجة المستهدفة،⁵⁹ على سبيل المثال، قد يكون مستوى تركيز الفينيتوين في المصل ضمن النطاق العلاجي، ومع ذلك تظهر آثار ضارة في المرضى الذين يعانون انخفاضًا شديدًا في مستوى الألبومين.⁶⁰ كما يجب أن نأخذ في الاعتبار التأثير التأزري للأدوية، مثلًا مستوى تركيز الكاربامازيبين العلاجي قد يكون في الطرف الأعلى عند استخدامه منفردًا، وقد تستهدف تركيزات أقل عند استخدامه مع بعض مضادات الصرع الأخرى.⁶¹ وقد يُسمح بتركيزات عالية من الفينوباربیتال في نوبات الصرع الشديدة المهددة للحياة.⁶²

الجدول 4. أمثلة وملاحظات سريرية ودورها في تفسير نتائج تركيز الدواء في الدم.²⁵

الملاحظات السريرية	دورها
الجلد والشعر واللثة والعين	علامات الآثار السلبية لبعض الأدوية المضادة للصرع (الفينيتوين).
اختبارات استجابة الميكروبات للأدوية في المختبر	لضمان الاختيار الصحيح للمضاد الحيوي، وتصميم نظام أمثل.
حجم الزفير القسري في ثانية واحدة (FEV1)، ذروة معدل تدفق الزفير (PEFR)، غازات الدم الشرياني (ABG)	علامات لفاعلية موسعات الشعب الهوائية (الثيوفيلين).
تغيرات في تخطيط القلب والغثيان والقيء والصداع	سمية الديجوكسين .

العوامل البيوكيميائية	الدواء	التفسير
ارتفاع الكرياتينين	الجنتاميسين، الفانكوميسين	مؤشر على سمية أو تقليل الإطراح
ارتفاع بعض إنزيمات الكبد	حمض الفالبرويك والأسييتامينوفين	مؤشر على سمية الكبد
انخفاض البوتاسيوم	الديجوكسين	تعزيز سمية القلب لليديجوكسين
انخفاض كريات الدم	كاربامازيبين	مؤشر على فقر الدم الحاد
وظائف الغدة الدرقية	الديجوكسين	التحذير من استجابة متغيرة في حالة قصور الغدة الدرقية أو فرط نشاطها

● النتائج غير الطبيعية

النتائج غير الطبيعية تشمل ما يلي، على سبيل المثال: ارتفاع مستوى الجنتاميسين فجأة رغم أن وظائف الكلى طبيعية؛ مستوى تركيز الفانكوميسين عالٍ جدًا في مريض يتلقى جرعة عادية، مستوى الديجوكسين مرتفع جدًا في مريض لديه وظيفة كلوية طبيعية بينما مستويات الديجوكسين السابقة طبيعية ... إلخ.²⁴

● أكثر الأسباب شيوعًا

- حدوث خطأ في وقت أخذ العينات.
- طلب خاطئ (أعلى تركيز/ أقل تركيز) شائع للمضادات الحيوية مثل الجنتاميسين.
- عينة دم ملوثة بالدواء أثناء سحب العينة لدواء يُعطى بالحقن الوريدي، وغالبًا تُعطى التحاليل قيمًا عالية جدًا غير طبيعية ولا تتناسب مع ملف المريض والنتائج السابقة. يطلب المختبر عينة أخرى مع التأكيد على الطريقة المناسبة لسحب العينة من الذراع الأخرى.
- أسباب أخرى محتملة، مثل إعطاء جرعة غير مناسبة، وحدث تغير في حركية الدواء، والتداخل بين الأدوية أو الادوية مع بعض الأغذية، أو وجود قصور في وظائف الكبد أو الكلى وكذلك العوامل الوراثية ذات الصلة بأبيض الدواء .

● معرفة الإجراء المناسب للتعامل مع الجرعة الزائدة أو عند حدوث تسمم على سبيل المثال، تقدير الجرعة المناسبة من المضاد المناعي لليديجوكسين في حالة التسمم الشديد بالديجوكسين.⁶³ القرار المناسب لإعطاء جرعات ترياق محددة (الأسيتايل سيستين) في حالة التسمم الموثق بدواء أسيتامينوفين (الباراسيتامول).⁶⁴

2-6 تكامل أدوار الفريق الطبي

تتطلب خدمة مراقبة الأدوية العلاجية المثلى فنيين يتمتعون بخبرة مناسبة في تحليل الأدوية. ويوصى بتنفيذ دور الصيدلي الإكلينيكي الذي يتمتع بخبرة واسعة في هذا المجال لضمان تقديم خدمة جيدة بشكل عام من خلال تحديث النطاق المرجعي والمبادئ التوجيهية لأخذ العينات ومراجعة الخدمة.^{35, 65, 66}

2-7 التعليم المستمر وتنمية المهارات

يعد برنامج التعليم المستمر فيما يتعلق بالقضايا ذات الصلة أمرًا مهمًا لتوعية الموظفين الصحيين بالمبادئ الأساسية وضمان التنفيذ الفعال للخدمة في بيئة سريرية.⁶⁷ تشمل استراتيجيات تثقيف الطبيب بالاستخدام الأمثل: تطبيق مناهج التعليم التقليدية وغير التقليدية. وعمومًا، تعتبر معظم الأساليب التعليمية التقليدية فعالة في تغيير سلوكيات الطبيب على المدى القصير، ولكن المشكلة تكمن في أن هذه الأساليب قد يتضاءل تأثيرها بمرور الوقت. وقد تم اقتراح التعلم بواسطة الكمبيوتر باعتباره أفضل من التعليم التقليدي.⁶⁸ ونقترح تضمين المبادئ الأساسية في المناهج الدراسية الجامعية لطلاب الطب والتمريض والتكنولوجيا الطبية كأداة فعالة لتحسين هذه الخدمة في البلدان النامية.²⁴

2-8 إشراك المريض في الالتزام بإرشادات الجرعات ومراقبة الأدوية

ينبغي توجيه المرضى بالالتزام بنظام العلاج.^{69, 70} والالتزام بإرشادات الطبيب أو الصيدلاني وإخطارهم بأي مضاعفات أو آثار جانبية قد يتعرضون لها جراء استخدام الدواء، وإذا كانت الأدوية ضمن قائمة مراقبة الأدوية العلاجية، يجب إخبار المرضى بذلك وإرشادهم بأهمية الحفاظ على ميعاد أخذ العينات.

2-9 إجراء الأبحاث

يحسُن الاستفادة من الخدمة في الممارسة السريرية، حيث تغطي الأبحاث ذات الصلة العديد من الجوانب بما في ذلك تحسين الخدمة لفئات خاصة مثل الخدج والأطفال ومرضى زراعة الأعضاء.⁷¹⁻⁷⁴ ويجدر بالذكر أنه تتوافر العديد من برامج حركية الدواء لدعم استخدام مستوى تركيز الدواء في الدم لتصميم نظام الجرعات الأمثل لكل مريض وفق حالته.^{75, 76}

2-10 تكامل مراقبة الدواء العلاجي وعلم الصيدلة الجيني

تتيح خدمات مراقبة الدواء، بالاقتران مع اختبارات الوراثة الدوائية المتاحة، تحقيق توجهات الطب على أسس فردية. والمقصود بتصميم العلاج وفق الخصائص والسمات الفردية، وينعكس ذلك إيجابيًا على أنظمة الجرعات، وتحسين فاعلية الدواء، والحد من الآثار غير المرغوبة، وإعطاء أفضل النتائج السريرية لأدوية مختلفة تشمل الأدوية المثبطة للمناعة، ومضادات الاكتئاب.⁷⁷⁻⁸³

3- الاستنتاج

الهدف من مراقبة الأدوية العلاجية هو تحقيق الاستخدام الأمثل لأدوية معينة ذات نطاق علاجي ضيق. وتشمل تحديد تركيزات الدواء في عينات الدم المأخوذة في الوقت المحدد. يسلط هذا البحث الذي أعده خبراء في هذا المجال الضوء على أساسيات ومفاهيم، ويقدم توصيات حول كيفية تحسين هذه الخدمة وخاصة في البلدان النامية. ويوصي بإجراء الأبحاث واعتماد التقنيات الحديثة في التحاليل واستخدام برامج حركية الدواء وتفعيل دور الصيدلي الإكلينيكي.

يتقدم فريق البحث بالشكر والتقدير للأستاذة الدكتورة سميرة إبراهيم إسلام، أستاذة علم الأدوية ورئيسة وحدة قياس الأدوية بكلية الطب بجامعة الملك عبد العزيز سابقاً؛ والأستاذ الدكتور منصور إبراهيم سليمان، أستاذ علم الأدوية ونائب رئيس وحدة قياس الأدوية، ومدير مركز الملك فهد للبحوث الطبية بكلية الطب بجامعة الملك عبد العزيز سابقاً على دعمهم المستمر لإنجاز هذا البحث.

ملحق

الأدوية الواردة في البحث

Raltegravir	رالتهغرافير	Adalimumab	أداليموماب
Rifampicin	ريفامبيسين	Aspirin	أسبرين
Zoncimide	زونيساميد	Acetyl Cystine	أستيلايل سيستين
Cyclosporine A	سيكلوسبورين أ	Asenapine	أسينابين
Vancomycin	فانكوميسين	Amiodarone	أميدارون
Flucytosine	فلوسيتوزين	Amikacin	أميكاسين
Voriconazole	فوريكونازول	Aminoglycosides	أمينوغلايكوسيد
Phenobarbitone	فينوباربيتال	Infliximab	إنفليكسيماب
Phenytoin	فينيتوين	Oxcarbazepine	أوكسكاربازيبين
Carbamazepine	كاربامازيبين	Itraconazole	إيتراكونازول
Carbamazepine-10,11-epoxide	كاربامازيبين إيبوكسيد	Isoniazid	أيزونيايد
Clonazepam	كلونازيبام	Iloperidone	إيلوبريدون
ketoconazole	كيتوكونازول	Paracetamol	باراسيتامول
Lamotrigine	لاموتريجين	Pregabalin	بريغابالين
Lurasidone	لوراسيدون	Brivaracetam	بريفاريسيتام
Lithium	ليثيوم	Posaconazole	بوساكونازول
Levetiracetam	ليفيتيراسيتام	Tacrolimus	تاكلوريماس
Maravirocal	مارافيروكال	Tobramycin	توبراميسين
Tricyclic Antidepressants	مضادات الاكتئاب ثلاثية الحلقات	Topiramate	توبيراميت
Methotrexate	ميثوتريكسات	Theophylline	ثيوفيلين
Mycophenolate Mofetil	ميكوفينولات موفيتيل	Gentamycin	جنتاميسين
Hydroxychloroquine	هيدروكسي كلوروكوين	Valproic Acid	حمض الفالبرويك
Warfarin	وارفارين	Digoxin	ديجوكسين

Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)	التحاليل المناعية للإنزيم المرتبط
Florescence polarization immunoassay (FPIA)	التحاليل المناعية لاستقطاب التآلق
Enzyme Immunoassay (EMIT)	التحاليل المناعية للإنزيم
Volumetric Absorptive Micro Sampling (VAMS)	تقنية لأخذ عينات صغيرة

روابط لملاحظات ذات صلة بالبحث

البحث باللغة الإنجليزية: <https://bit.ly/3bQcaa1>برامج تحت التطوير: <https://bit.ly/3wrvGD6>كتاب منشور: <https://bit.ly/2YoD59O>

المراجع

1. Marshall WJ, Lapsley M, Day A, Ayling R. Clinical biochemistry E-book: Metabolic and clinical aspects. Elsevier Health Sciences; CHAPTER 39 - Therapeutic drug monitoring; 2014pp.767-786.
2. Dasgupta A. Introduction to therapeutic drug monitoring: Frequently and less frequently monitored drugs. In: Dasgupta A, editor. Therapeutic drug monitoring. Boston: Academic Press; 2012: 1-29.
3. Patsalos PN, Spencer EP, Berry DJ. Therapeutic drug monitoring of antiepileptic drugs in epilepsy: A 2018 update. Therapeutic Drug Monitoring. 2018;40(5): 526-548.
4. Zhang Y, Zhang R. Recent advances in analytical methods for the therapeutic drug monitoring of immunosuppressive drugs. Drug Testing and Analysis. 2018;10(1): 81-94.
5. Boyer A, Gruson D, Bouchet S, Clouzeau B, Hoang-Nam B, Vargas F, et al. Aminoglycosides in septic shock. Drug Safety. 2013;36(4): 217-230.
6. Rybak MJ, Lomaestro BM, Rotschaher JC, Moellering Jr RC, Craig WA, Billeter M, et al. Vancomycin therapeutic guidelines: A summary of consensus recommendations from the infectious diseases Society of America, the American Society of Health-System Pharmacists, and the Society of Infectious Diseases Pharmacists. Clinical Infectious Diseases. 2009;49(3): 325-327.
7. Mabilat C, Gros MF, Nicolau D, Mouton JW, Textoris J, Roberts JA, et al. Diagnostic and medical needs for therapeutic drug monitoring of antibiotics. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases. 2020;39(5):791-797.
8. Wicha SG, Mårtson AG, Nielsen EI, Koch BC, Friberg LE, Alffenaar JW, et al. From therapeutic drug monitoring to model-informed precision dosing for antibiotics. Clinical Pharmacology & Therapeutics. 2021;109(4):928-941.
9. Jacob S, Nair AB. An updated overview on therapeutic drug monitoring of recent antiepileptic drugs. Drugs in R&D. 2016;16(4):303-316.
10. John J, Loo A, Mazur S, Walsh TJ. Therapeutic drug monitoring of systemic antifungal agents: A pragmatic approach for adult and pediatric patients. Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology. 2019;15(11):881-895.
11. Urban AE, Cubala WJ. Therapeutic drug monitoring of atypical antipsychotics. Psychiatria Polska. 2017;51(6):1059-1077.
12. Verheijen RB, Yu H, Schellens JHM, Beijnen JH, Steeghs N, Huitema ADR. Practical recommendations for therapeutic drug monitoring of kinase inhibitors in oncology. Clinical Pharmacology and Therapeutics. 2017;102(5):765-776.
13. Fobelo Lozano MJ, Serrano Giménez R, Sánchez Fidalgo S. Therapeutic drug monitoring of infliximab in spondyloarthritis. A review of the literature. British Journal of Clinical Pharmacology. 2019;85(10):2264-2279.
14. Franca R, Curci D, Lucafò M, Decorti G, Stocco G. Therapeutic drug monitoring to improve outcome of anti-TNF drugs in pediatric inflammatory bowel disease. Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology. 2019;15(7):527-539.
15. Hoseyni H, Xu Y, Zhou H. Therapeutic drug monitoring of biologics for inflammatory bowel disease: An answer to optimized treatment? Journal of Clinical Pharmacology. 2018;58(7):864-876.
16. Papamichael K, Vogelzang EH, Lambert J, Wolbink G, Cheifetz AS. Therapeutic drug monitoring with biologic agents in immune mediated inflammatory diseases. Expert Review of Clinical Immunology. 2019;15(8):837-848.
17. Restellini S, Khanna R, Afif W. Therapeutic drug monitoring with Ustekinumab and Vedolizumab in inflammatory bowel disease. Inflammatory Bowel Diseases. 2018;24(10):2165-2172.
18. Sparrow MP, Papamichael K, Ward MG, Riviere P, Laharie D, Paul S, et al. Therapeutic drug monitoring of biologics during induction to prevent primary non-response. Journal of Crohn's & Colitis. 2020;14(4):542-556.
19. Mok CC. Therapeutic monitoring of the immuno-modulating drugs in systemic lupus erythematosus. Expert Review of Clinical Immunology. 2017;13(1):35-41.
20. Hermans C, Herranz P, Segaeert S, Gils A. Current practice of therapeutic drug monitoring of biopharmaceuticals in Psoriasis patients. Therapeutic Drug Monitoring. 2017;39(4):356-359.
21. Imamura CK. Therapeutic drug monitoring of monoclonal antibodies: Applicability based on their pharmacokinetic

- properties. *Drug Metabolism and Pharmacokinetics*. 2019;34(1):14–18.
22. Pasupuleti RR, Tsai P-C, Ponnusamy VK, Pugazhendhi A. Rapid determination of remdesivir (SARS-CoV-2 drug) in human plasma for therapeutic drug monitoring in COVID-19-Patients. *Process Biochemistry*. 2021;102: PP106-150.
 23. Tecen-Yucel K, Aras-Atik E, Bayraktar-Ekincioglu A. Does therapeutic drug monitoring of hydroxychloroquine improve treatment outcome in intensive care unit patients with COVID-19. *International Journal of Clinical Practice*. 2021;75(4):e13894.
 24. Ali AS, Abdelrahman MS, AB RAHMAN AF, Soliman MI. *Therapeutic drug monitoring practical guide : Scientific Publishing Center, King Abdulaziz University*, 2016 :1-15.
 25. Zhao W, Jacqz-Aigrain E. *Principles of therapeutic drug monitoring. Pediatric clinical pharmacology*. Springer; 2011: 77–90.
 26. Wong G, Sime FB, Lipman J, Roberts JA. How do we use therapeutic drug monitoring to improve outcomes from severe infections in critically ill patients, *BMC Infectious Diseases*. 2014;14(1):288 :1-11.
 27. Burton ME. *Applied pharmacokinetics & pharmacodynamics: principles of therapeutic drug monitoring*. Lippincott Williams & Wilkins; 2006: 285-327.
 28. Capiou S, Veenhof H, Koster RA, Bergqvist Y, Boettcher M, Halmingh O, et al. Official international association for therapeutic drug monitoring and clinical toxicology guideline: development and validation of dried blood spot-based methods for therapeutic drug monitoring. *Therapeutic Drug Monitoring*. 2019;41(4): 409–430.
 29. Iacuzzi V, Posocco B, Zanchetta M, Gagno S, Poetto AS, Guardascione M, et al. Dried blood spot technique applied in therapeutic drug monitoring of anticancer drugs: A review on conversion methods to correlate plasma and dried blood spot concentrations. *Pharmaceutical Research*. 2021; 38 :759–778.
 30. Klak A, Pauwels S, Vermeersch P. Preanalytical considerations in therapeutic drug monitoring of immunosuppressants with dried blood spots. *Diagnosis (Berlin, Germany)*. 2019;6(1):57–68.
 31. Martial LC, Aarnoutse RE, Mulder M, Schellekens A, Brüggemann RJM, Burger DM, et al. Dried Blood Spot sampling in psychiatry: Perspectives for improving therapeutic drug monitoring. *European neuropsychopharmacology. The Journal of the European College of Neuropsychopharmacology*. 2017;27(3):205–216.
 32. Min KL, Ryu JY, Chang MJ. Development and clinical applications of the dried blood spot method for therapeutic drug monitoring of anti-epileptic drugs. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. 2019;125(3):215–236.
 33. Vu DH, Alfenaar JW, Edelbroek PM, Brouwers JR, Uges DR. Dried blood spots: A new tool for tuberculosis treatment optimization. *Current Pharmaceutical Design*. 2011;17(27):2931–2939.
 34. Kok MG, Fillet M. Volumetric absorptive microsampling: Current advances and applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. (2018);147:288-296
 35. Kang J-S, Lee M-H. Overview of therapeutic drug monitoring. *The Korean Journal of Internal Medicine*. 2009;24(1):1-10.
 36. Dasgupta A, Datta P. Analytical techniques for measuring concentrations of therapeutic drugs in biological fluids. *Handbook of drug monitoring methods*. Springer; 2008:67–86.
 37. Cui JJ, Wang LY, Tan ZR, Zhou HH, Zhan X, Yin JY. Mass spectrometry-based personalized drug therapy. *Mass Spectrometry Reviews*. 2020;39(5–6):523–552.
 38. Seger C, Salzmann L. After another decade: LC-MS/MS became routine in clinical diagnostics. *Clinical Biochemistry*. 2020;82:2–11.
 39. Tuzimski T, Petruczynik A. Review of chromatographic methods coupled with modern detection techniques applied in the therapeutic drugs monitoring (TDM). *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2020;25(17):2-69.
 40. van Nuland M, Rosing H, Schellens JHM, Beijnen JH. Bioanalytical LC-MS/MS validation of therapeutic drug monitoring assays in oncology. *Biomedical Chromatography : BMC*. 2020;34(1):e4623.
 41. Vogeser M, Seger C. A decade of HPLC-MS/MS in the routine clinical laboratory – goals for further developments. *Clinical Biochemistry*. 2008;41(9):649–662.
 42. Zhang Y, Zhang R. Recent advances in analytical methods for the therapeutic drug monitoring of immunosuppressive drugs. *Drug Testing and Analysis*. 2018;10(1):81–94.
 43. Zheng YZ, Wang S. Advances in antifungal drug measurement by liquid chromatography-mass spectrometry. *Clinica Chimica Acta; International Journal of Clinical Chemistry*. 2019;491:132–145.
 44. Patsalos PN, Berry DJ, Bourgeois BF, Cloyd JC, Glauser TA, Johannessen SI, et al. Antiepileptic drugs—best practice guidelines for therapeutic drug monitoring: a position paper by the subcommission on therapeutic drug monitoring, ILAE Commission on Therapeutic Strategies. *Epilepsia*. 2008;49(7):1239–1276.
 45. Zhang Y, Zhang R. Recent advances in analytical methods for the therapeutic drug monitoring of immunosuppressive drugs. *Drug Test Anal*. 2018;10(1):81-94.
 46. Nwobodo N. Therapeutic drug monitoring in a developing nation: A clinical guide. *JRSM Open*. 2014;5(8):1-5.
 47. Touw DJ, Neef C, Thomson AH, Vinks AA. Cost-effectiveness of therapeutic drug monitoring: A systematic review. *Therapeutic Drug Monitoring*. 2005;27(1):10–17.
 48. Vithanachchi DT, Maujean A, Downes MJ, Scuffham P. A comprehensive review of economic evaluations of therapeutic drug monitoring interventions for cancer treatments. *British Journal of Clinical Pharmacology*. 2021;87(2):271–283.
 49. Aarnoutse RE, Schapiro JM, Boucher CA, Hekster YA, Burger DM. Therapeutic drug monitoring. *Drugs*. 2003;63(8):741–753.
 50. Winter ME, Katcher BS, Koda-Kimble MA. *Basic clinical pharmacokinetics*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009. 73-97
 51. Ghiculescu R. Therapeutic drug monitoring: Which drugs, why, when and how to do it. *Aust Prescr* 2008;31:42-4.
 52. Hendset M, Haslemo T, Rudberg I, Refsum H, Molden E. The complexity of active metabolites in therapeutic drug monitoring of psychotropic drugs. *Pharmacopsychiatry*. 2006;39(4):121–127.

53. Karami F, Ranjbar S, Ghasemi Y, Negahdaripour M. Analytical methodologies for determination of methotrexate and its metabolites in pharmaceutical, biological and environmental samples. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 2019;9(6):373–391.
54. Feghali M, Venkataramanan R, Caritis S, editors. *Pharmacokinetics of drugs in pregnancy*. Semin Perinatol. 2015; 39(7): 512–519..
55. Mayor S. Pharmacokinetics: Optimising safe and effective prescribing. *Prescriber*. 2017;28(3):45–48.
56. Krause KM, Serio AW, Kane TR, Connolly LE. Aminoglycosides: An overview. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. 2016;(6): 1-18 (a027029).
57. Grześk G, Stolarek W, Kasprzak M, Krzyżanowski M, Szadujkis-Szadurska K, Wiciński M, et al. Therapeutic drug monitoring of digoxin–20 years of experience. *Pharmacological Reports*. 2018;70(1):184–189.
58. Gajjar BM, Shah AM, Patel PM. The pattern of adverse drug events to antiepileptic drugs: A cross-sectional study at a tertiary care teaching hospital. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*. 2016;6(6):616–621.
59. van den Anker, J., Reed, M.D., Allegaert, K. and Kearns, G.L. (2018), Developmental Changes in Pharmacokinetics and Pharmacodynamics. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 58: S10-S25.
60. Wu MF, Lim WH. Phenytoin: A guide to therapeutic drug monitoring. *Proceedings of Singapore Healthcare*. 2013;22(3):198–202.
61. Panday D, Panday K, Basnet M, Kafle S, Shah B, Rauniar G. Therapeutic drug monitoring of carbamazepine. *International Journal of Neurorehabilitation*. 2017;4(245):1-5 (doi:10.4172/2376-0281.1000245).
62. Byun JI, Chu K, Sunwoo JS, Moon J, Kim TJ, Lim JA, et al. Mega-dose phenobarbital therapy for super-refractory status epilepticus. *Epileptic Disorders*. 2015;17(4):444–452.
63. Hauptman, PJ., Blume, SW., Lewis, EF., Ward, S. Digoxin toxicity and use of digoxin immune fab: insights from a national hospital database. *JACC: Heart Failure*. 2016; 4(5):357-364.64. Fisher, ES., Curry, SC.). Evaluation and treatment of acetaminophen toxicity. *Advances in Pharmacology*. 2019; 85: 263-272.
65. Almohammde S, Alhodan H, Almofareh S, Alshehri S, Almasri DM, Ghoneim RH. A survey of therapeutic drug monitoring in a teaching hospital. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(1):744–747.
66. Clarke W. Overview of therapeutic drug monitoring. *Clinical challenges in therapeutic drug monitoring*. Elsevier. 2016:1–15.
67. Khairi LNHM, Ahmad FS, Anuar ASM, Omar NAW, Muhammad NN, Jamal NA, et al. Improving the appropriateness of therapeutic drug monitoring sampling in Hospital Sultanah Nur Zahirah, Kuala Terengganu. *Q Bulletin*. 2020;1(29):28–35.
68. Hussain M, Sahudin S, Yusof I. Exploring the use of computer-aided learning modules (CAL) to enhance the teaching and learning of pharmacokinetics to pharmacy students. *Journal of Young Pharmacists*. 2020;12(4):354-359.
69. Allison K. Adherence through education: A call to clinicians to educate all patients on medication use. *Mental Health Clinician*. 2012;2(4):83–85.
70. Mathes T, Großpietsch K, Neugebauer EA, Pieper D. Interventions to increase adherence in patients taking immunosuppressive drugs after kidney transplantation: A systematic review of controlled trials. *Systematic Reviews*. 2017;6(1):1–14.
71. Ali AS, Farouq MF, Al-Faify KA. Pharmacokinetic approach for optimizing gentamicin use in neonates during the first week of life. *Indian Journal of Pharmacology*. 2012;44(1): 36–40.
72. Ali AS, Al-Nasser MS, Sattar MAA, Alkreathy HM, Al-Amma MN, Alsulaimani RA, et al. Major adverse effects associated with tacrolimus (Fk506) based regimen among Saudi Kidney transplant patients. *Journal of Pharmaceutical Research International*. 2018:1–8.
73. Islam SI. Pharmacogenomics and therapeutic drug monitoring: The challenge in drug safety. *International Journal of Integrative Biology*. 2008;4:62–66.
74. Al-Nasser M, Ali A, Sattar M, Abdulfattah E, Khan L. Therapeutic drug monitoring of tacrolimus in Saudi Kidney transplant patients. *Journal of Nephrology & Therapeutics*. 2016;6(264):DOI: 10.4172/2161-0959.1000264.
75. Fuchs A, Csajka C, Thoma Y, Buclin T, Widmer N. Benchmarking therapeutic drug monitoring software: a review of available computer tools. *Clinical Pharmacokinetics*. 2013;52(1):9-22.
76. Drennan P, Doogue M, van Hal SJ, Chin P. Bayesian therapeutic drug monitoring software: Past, present and future. *International Journal of Pharmacokinetics*. 2018;3:109–114.
77. Albers LJ, Ozdemir V. Pharmacogenomic-guided rational therapeutic drug monitoring: conceptual framework and application platforms for atypical antipsychotics. *Current Medicinal Chemistry*. 2004;11(3):297–312.
78. de Leon J. Personalizing dosing of risperidone, paliperidone and clozapine using therapeutic drug monitoring and pharmacogenetics. *Neuropharmacology*. 2020;168: (107656), 1-12.
79. Doki K. [Use of pharmacogenetic information for therapeutic drug monitoring of an antiarrhythmic drug]. *Yakugaku zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*. 2018;138(9):1145–1150.
80. Jaquenoud Sirot E, van der Velden JW, Rentsch K, Eap CB, Baumann P. Therapeutic drug monitoring and pharmacogenetic tests as tools in pharmacovigilance. *Drug Safety*. 2006;29(9):735–768.
81. Owusu Obeng A, Egelund EF, Alsultan A, Peloquin CA, Johnson JA. CYP2C19 polymorphisms and therapeutic drug monitoring of voriconazole: Are we ready for clinical implementation of pharmacogenomics? *Pharmacotherapy*. 2014;34(7):703–718.
82. Plesničar BK, Plesničar A. Therapeutic drug monitoring and pharmacogenetics – is this a way towards creative psychopharmacotherapy? *Psychiatria Danubina*. 2014;26(2):96–99.
83. Stieffenhofer V, Hiemke C. Pharmacogenetics, therapeutic drug monitoring and non compliance . *Therapeutische Umschau Revue therapeutique*. 2010;67(6):309–315.

ورقة بحثية

معالجة مادة المرجين بواسطة المبخر الطبيعي بوصفه نموذجًا إيكولوجيًا: مثال من تونس

وفاء حسن¹، لطفي سوسية¹، أسماء بلطيفة¹، كريمة بكير¹، عفيفة بلعيد¹،
الهادي بن منصور^{1*}

¹ وحدة البحث: تحاليل وأسابيل مطبقة في البيئة (UR17ES32)، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بالمهدية،
جامعة المنستير، تونس

* hedibenmansourissatmahdia@gmail.com

الملخص

يعتبر قطاع إنتاج وتصدير زيت الزيتون من القطاعات الواعدة في تونس، حيث يشهد نموًا متواصلًا يواكب التحولات الكبرى، سواء على مستوى الإنتاج أو التحويل أو التصدير. ويأتي مع هذا التطور زيادة في إنتاج مادة المرجين، وهي مادة سائلة مستخلصة من عصر الزيتون تصنف بأنها مادة سامة وملوث بيئي شديد التأثير متى ما صُرّفت في الطبيعة. تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتصنيع نموذج أولي لنظام مغلق للتبخير الطبيعي، يتميز بانخفاض تكلفته وسهولة تشغيله وحاجته إلى الصيانة أقل، له القدرة على تبخير 80% من مادة المرجين، وإنتاج 20% من المادة الصلبة. وقد أظهر التحليل الفيزيوكيميائي أن الماء المنتج أقل تحميلًا بالمواد العضوية المقيّمة من حيث الطلب على الأكسجين الكيميائي (COD) (0.001 ± 0.125 غرام/ لتر) والطلب على الأكسجين البيوكيميائي (BOD) (0.0387 ± 0.0006 غرام/ لتر) مقارنة بتلك الموجودة في مادة المرجين (14333.33 ± 763.76 غرام/ لتر و 4683.33 ± 208.17 غرام/ لتر، على التوالي). كما أنه يحتوي على نسبة أقل من المركبات الفينولية عن تلك الموجودة في مادة المرجين (0.012 ± 0.005 مليغرام/ لتر). وأظهرت الدراسة الميكروبيولوجية الغياب التام للكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض. كما تتميز هذه المياه المجمعة بدرجة حموضة قدرت بـ 3.26 ± 0.092 . ونتيجة لذلك، يمكن إعادة استخدام المياه المجمعة لتنظيف وتطهير الأماكن مثل المصانع والمزارع. ولإكمال هذه الدراسة، ثم إعادة تدوير المادة الصلبة (العجينة) المتحصل عليها بعد علاج مادة المرجين عن طريق التصبن.

الكلمات المفتاحية: المرجين، التلوث البيئي، معالجة مادة المرجين، تقنية التبخر الطبيعي.

Title:

Olive mill wastewater treatment by natural evaporator as an ecological process: example from Tunisia

Wafa Hassen¹, Lotfi Sousia¹, Asma Beltifa¹, Karima Bakir¹, Afifa Belaid¹, Hedi Ben Mansour^{1*}

¹ Research Unit of Analysis and Process Applied to the Environment - APAE UR17ES32 Higher Institute of Applied Sciences and Technology
Mahdia, University of Monastir, Tunisia.

Abstract

Tunisia is considered a major cultivator of olive and exporter of olive oil. The Tunisian olive oil activity is constantly developing, given that the country is making great efforts to produce a competitive product in quantity and quality. However, this development generates a large amount of olive mill wastewater, which is a basic by-product extracted from the olives. This wastewater is considered a toxic substance and constitutes a very

Received 22 June 2021; accepted 21 October 2021; published 09 December 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons 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: Hassen W, Sousia L, Beltifa A, bakir K, Belaid A, Ben Mansour H. Olive mill wastewater treatment by natural evaporator as an ecological process: example from Tunisia. Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.13. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.13>

strong environmental pollutant when it is discharged into the environment. Treating olive mill wastewater by natural evaporation could be a new alternative. Our goal is to design and prototype a closed system for bio-evaporation that is low cost, easy to operate, and requires less maintenance. The system in question can evaporate 80% of the olive-mill wastewater and produces 20% of the solid substance. The physio-chemical analysis showed that this generated water is less loaded with organic matter in terms of COD (0.125 ± 0.001 g/ L) and BOD (0.0387 ± 0.0006 g/L) than that of standard olive-mill wastewater (14333.33 ± 763.76 g/ L and 4683.33 ± 208.17 g/ L, respectively). It also contains a lower concentration of phenolic compounds than those found in olive-mill wastewater (0.012 ± 0.005 mg/ L). The microbiological study showed the complete absence of pathogenic microorganisms. Also, the pH of collected water is around 3.26 ± 0.092 . As a result, the collected water can be reused to clean and disinfect places like factories and farms. To complete this study, the solid substance (paste) obtained after treatment of the olive mill wastewater was assessed by saponification.

Keywords: Olive-mill wastewater, environmental pollution, treatment, natural evaporation technology.

1- المقدمة

تصميم وتصنيع نموذج أولي لنظام مغلق للتبخير الطبيعي/ لمعالجة مادة المرجين. (2) تقييم المركبات الفيزيوكيميائية والمكونات الميكروبيولوجية والمعادن الثقيلة في مادة المرجين قبل وبعد معالجتها. (3) إعادة تدوير المادة الصلبة (العجينة) المتحصل عليها بعد المعالجة لصناعة الصابون.

2- المواد وطرق البحث

2-1 عينة الدراسة

شملت هذه الدراسة 39 مشاركا من أصحاب معاصر الزيتون ومزارعين يمتلكون أشجار زيتون في ولاية المهدية في تونس.

2-2 استبيان حول مادة المرجين

أنجز خلال موسم جني الزيتون 2019-2020 استبيان مع أصحاب المعاصر والمزارعين حول كميات الزيتون المنتجة وطرق تصنيع زيت الزيتون، ومخلفات عمليات رعي الزيتون المتمثلة في مادة الفيتورة وخاصة مادة المرجين، وذلك لمعرفة كميات المرجين المستخرجة وتكاليف نقلها ومعالجتها وكيفية إعادة استعمالها.

2-3 موقع أخذ العينة

جُمعت عينات من مادة المرجين الخام، خلال موسم قطف الزيتون (نوفمبر 2019-مارس 2020)، من معصرة حديثة، هي معصرة شفير، الواقعة في مدينة رجيش بعمدية سيدي علوان بولاية المهدية، والمعصرة مجهزة بنظام من ثلاث مراحل بقدرة عصر 40 طنًا/ 24 ساعة، وسعة تخزين 60 طنًا. وحُزنت العينات في عبوات نظيفة وغير شفافة سعتها 20 لترًا من حوض تخزين مادة المرجين في المعصرة بطريقة متجانسة، ثم نُقلت إلى المختبر من أجل إبقائها باردة وحمايتها من الضوء لاستخدامها لاحقًا في دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية والميكروبيولوجية.

2-4 تصميم وتصنيع نموذج أولي: نظام مغلق للتبخير الطبيعي

يتكون النموذج الأولي من زجاج عادي شفاف وسميك (4 ملمترات) مُلصق بالسيليكون ومغلق بغطاءين؛ واحد من الألومنيوم يلامس الجزء الداخلي من النموذج، والآخر من البلاستيك المموج ليحميه من أشعة الشمس من الخارج (أبعاده كالتالي العرض: 50 سنتيمترًا، الطول: 100 سنتيمترًا)، وهذا الغطاء البلاستيكي غير سام وطارد للماء ومقاوم للعوامل الجوية. للغطاء المزدوج زاوية ميل على المحور الأفقي (اختلاف في الأضلاع 20 سنتيمترًا)، وهو ما يكفي لضمان تصريف أفضل للقدرات المتجمعة على سطح الألومنيوم. وللزجاج المستخدم القدرة على تحمل الظروف المناخية المختلفة (تغيرات

في العقود الأخيرة، أصبح التدهور البيئي وتغير المناخ مصدر قلق متزايد للبشرية، رغم الجهود المتواصلة لحماية البيئة وإدارة النفايات بوصف ذلك من أهم ركائز التنمية المستدامة. وفي هذا السياق، تعد تونس من الدول التي تولي أهمية كبيرة للتنمية المستدامة، والتي أصبحت إحدى أولويات خطتها وسياساتها للتنمية الاقتصادية والاجتماعية. لذلك، ركزت تونس، بشكل خاص، على معالجة المنتجات الثانوية المستخرجة من المعاصر بعد استخراج زيت الزيتون.

من ناحية أخرى، فإن من أهم الأنشطة الزراعية في تونس زراعة وجني الزيتون واستخراج زيتته. وفي هذا النشاط، وخاصة إنتاج زيت الزيتون عالي الجودة والمخصص للاستهلاك والتصدير، تصنف تونس من بين المنتجين الرائدة في العالم.¹ إلا أن إنتاج زيت الزيتون في تونس لا يزال يخضع لتقلبات قوية من سنة إلى أخرى، ويرجع ذلك أساسًا إلى كمية الأمطار السنوية. وإضافة إلى ذلك، تعتبر ولاية المهدية، نظرًا إلى موقعها الجغرافي المطل على البحر الأبيض المتوسط ومناخها المعتدل، من أهم المناطق المنتجة لزيت الزيتون في تونس.

ينتج من استخلاص زيت الزيتون كميات كبيرة من المخلفات الثانوية التي تتكون من نوعين: المواد الصلبة المعروفة باسم الفيتورة، والمواد السائلة المعروفة باسم المرجين.² ويُنتج كل 100 كيلوغرام من الزيتون، في المتوسط، نحو 35 كيلوغرامًا من الفيتورة و100 لتر من مادة المرجين.³

لطالما اعتُبرت مادة الفيتورة من النفايات، ولكنها أقل تلويثًا من مادة المرجين،⁴ لذا تعيد بعض معاصر الزيتون استخدامها، إما لاستخلاص زيت الفيتورة بعد المعالجة بالمذيبات، وإما وقودًا في الغلايات الصناعية أو الأفران أو الحمامات العامة.⁴ غير أن مادة المرجين لا تزال تعتبر المشكلة الرئيسية لأصحاب معاصر الزيتون، وذلك بسبب التكلفة العالية للتخلص منها من ناحية، ونقص تقنيات العلاج المناسبة لها من ناحية أخرى. ويتم التخلص من هذه المخلفات وتصريفها مباشرة في البيئة، مما يتسبب في تلف التربة وتلويث المائدة المائية السطحية ونشر الروائح الكريهة في الهواء.

تعرف مادة المرجين أيضًا باسم المياه النباتية، وهي مواد سائلة تنتج من استخلاص زيت الزيتون، وتتكون من ماء الزيتون ومياه غسل الزيتون. وتظهر شدة خطرها خاصة مع وجود مادة البوليفينول السامة مع ارتفاع درجة الحموضة (pH) والجسيمات والمواد العضوية القابلة للذوبان.

تُعالج مادة المرجين باعتماد الطرق الفيزيوكيميائية والبيولوجية، أو من خلال تقنية التبخير الطبيعي بواسطة الطاقة الشمسية،^{1, 2} التي تعتمد بشكل رئيسي على درجة أشعة الشمس والرطوبة. وتعتبر هذه التقنية آلية بيئية فعالة جدًا لمعالجة المرجين، وهي غير مكلفة وسهلة الاستعمال، ومربحة.

بناء على ما سبق، تتمثل الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة في: (1)

درجات الحرارة، المطر، الرياح ... إلخ). وفي داخل النموذج حوض مصنوع أيضاً من الزجاج نفسه وملصق بالسيليكون (العرض: 40 سنتيمترًا، الطول: 80 سنتيمترًا، الارتفاع: 10 سنتيمترات) ومجهز بميزان حرارة لمتابعة نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة الجافة. ولتسهيل استعادة المياه المتبخرة، تم عمل ثقب في زاوية في قاعدة النموذج وتزويده بصنبور من الألومنيوم. تم وضع النموذج بأكمله على دعامة خشبية (الشكل 1).



الشكل 1. صورة للنموذج المغلق للتبخر الطبيعي لمادة المرجين.

تم اختيار الزجاج باعتباره المادة الرئيسية للنموذج، لأنه قادر على التقاط الطاقة الشمسية وتحويلها إلى حرارة مثل الدفينة الزجاجية، ما يضمن تبخر الماء الموجود في مادة المرجين. وبعد ذلك يتكثف البخار في شكل قطرات ماء داخل غطاء الألومنيوم، ثم يتجمع بسبب درجة الميل ويتراكم في الجزء السفلي من العلبة. كما أن استخدام الزجاج يجعل من السهل التحكم في مستوى العينة في الحوض، وكذلك في إنتاج الماء. علاوة على ذلك، تمت عملية التحكم في النموذج وجمع البيانات ومراقبتها أثناء التجربة يوميًا عن طريق التفقد الذاتي. وتتضمن صيانة النموذج إزالة الجسيمات العالقة من الحوض فحسب، ويمكن القيام بذلك عن طريق إزالة الغطاء. وتقدر التكلفة الإجمالية للنموذج بـ 150 دينارًا تونسياً مع الحد الأدنى من الصيانة.

5-2 التحاليل الفيزيوكيميائية

أجريت التحاليل الفيزيوكيميائية لمادة المرجين والماء المجمع بعد العلاج بواسطة جهاز (Pastel UV Secomam) الذي يمكن من قياس المعايير التالية في حدود 60 ثانية للعينة الواحدة: المواد العالقة (MES)، الطلب على الأكسجين الكيميائي (COD)، / الطلب على الأكسجين البيوكيميائي (BOD)، والكربون العضوي الكلي (COT)، والنترات (NO_3^-) والهالوجين العضوي القابل للامتصاص (AOX)، والمواد القابلة للترسب (MO)، إضافة إلى قياس درجة الحموضة (pH) والموصلية الكهربائية (EC)، ودرجة الحرارة باعتماد المحرار.

تم تحليل الكلوريدات في مادة المرجين والماء المجمع بعد العلاج بطريقة «موهر»، حيث اعتمدت هذه الطريقة على ترسيب الأملاح، باستخدام نترات الفضة وكرومات البوتاسيوم. كما تم أيضاً قياس تركيز أيون الكبريتات والنترات والفوسفات باعتماد التحليل الطيفي المرئي وفقاً لمعايير أفنور^{7,6,5}. كذلك تم تحديد تركيز النيتروجين من خلال تمعدن النيتروجين العضوي الموجود في العينات في حمض الكبريتيك مع وجود محفز السيلينيوم

(K_2SO_4) وفقاً لطريقة كيلدال (Kjeldhal)⁸. وقد تم تحديد جرعة البوليفينول الكلي بواسطة تقنية قياس الألوان لـ (Folin Ciocalteu)⁹. تم قياس تركيز الدهون في العينات باستخدام «الهكسان» بسبب تقاربها القوي مع هذا المذيب. وبعد الطرد المركزي والفصل بين الجزيئات الموجودة في الخليط، تم تبخير مزيج الدهن-الهكسان في دورق مسبق الوزن متصل بمبخر دوار بوزن ثابت. وتم وزن المواد المتبقية في الدورق، والتي تظهر كمية الدهون في العينة، وتم أيضاً قياس الرطوبة التي تتمثل في الفرق بين كتلة عينة الاختبار من مادة المرجين أو الماء المجمع بعد العلاج والكتلة بعد التجفيف عند 105 درجات مئوية لمدة 24 ساعة. ثم تم إجراء فحص المعادن الثقيلة بواسطة مطيافية الانبعاث الذري (Elmer Optima 8000 ICP-OES).

6-2 التحاليل الميكروبيولوجية

بالنسبة إلى التحاليل الميكروبيولوجية، فقد جُمعت العينات (مادة المرجين والماء المجمع بعد العلاج) في قوارير بلورية معقمة، وأخضعت لطريقة العزل. تم مزج مليلتر واحد من العينة في الماء المقطر المعقم وإجراء سلسلة التخفيف العشرية (10^{-1} - 10^{-8}). وبعد ذلك، وُضع 0.1 مليلتر من المواد المخففة العشرية على أطباق أوساط مغذية مختلفة: (SS-agar) لسلالات السالمونيلا (Salmonella)؛ (MacConkey-agar) للسلالات القولونية (الكوليفورم / Coliform)؛ (PCA-agar) للكائنات الحية الدقيقة أليفة الاعتدال (ميسوفيليس الهوائية / Aerobic Mesophiles)؛ (TCBS-agar) لسلالات الضمة (فيبريو / Vibrio)؛ (Chapman) لسلالات المكورات العنقودية (الستافيلوكوك / Staphylococcus)؛ (MRS-agar) لبكتيريا حمض اللاكتيك (Lactic acid bacteria)؛ (Slanetz) و (Bartley-agar) لبكتيريا المكورات المعوية (الإنتيروكوك / Enterococcus)؛ (Litsky) لبكتيريا المكورات العقدية (الستريبتوكوك / Streptococcus)؛ (TTC Tergitol-) (agar) لبكتيريا القولون (E-coli)؛ (Sabouraud-Chloramphenicol-agar) للخمائر والفطريات. وحُضنت لمدة 48 ساعة عند 37 درجة مئوية. وأُجريت جميع التحاليل في ثلاث نسخ. وبعد مرحلة الحضانة مباشرة، تم حساب أعداد البكتيريا النامية في مزرعة معينة، ويفضل أن يكون عدد البكتيريا يتراوح بين 15-300.

7-2 إعادة تدوير عجينة المرجين المتحصل عليها بعد المعالجة

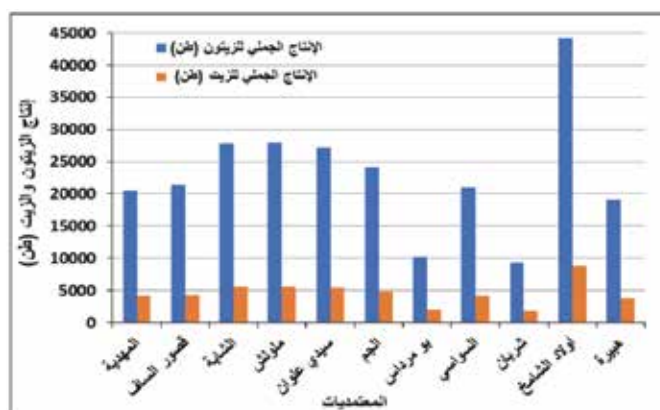
لصناعة الصابون

تم استعمال عجينة المرجين المتحصل عليها بعد المعالجة في صناعة الصابون البارد وفقاً لآلة حساب التصبن (Mendrulandia). ولصنع كيلوغرام واحد من الصابون بنسبة دهون فائقة 8٪، نحتاج إلى 750 غراماً من زيت الزيتون، و95 غراماً من الصودا الكاوية (NaOH) و231 غراماً من الماء. وبعد ذلك تُضاف عجينة المرجين إلى الخليط وتُمزج جيداً إلى أن يصبح الخليط أكثر تماسكاً، ثم يُسكب في قوالب سيليكون ويترك لمدة 48 ساعة في مكان جاف بعيداً عن الضوء. وبعد يومين، يُزال الصابون من القالب ويُترك في مكان جاف مدة شهر تقريباً لتجفيفه جيداً. وبمجرد انتهاء فترة تجفيف الصابون، يلزم إجراء تحاليل مراقبة جودته مثل قياس درجة الحموضة، وقوة الرغوة، وقوة الترطيب، وقوة الاستحلاب. وفي هذه الدراسة صُنِع الصابون بثلاث طرق وفق الجدول (1).

المواد المستعملة	الاختبار الأول	الاختبار الثاني	الاختبار الثالث
الماء	25 مليلترًا	12.65 مليلترًا	80.75 مليلترًا
عجينة المرجين	6 غرامات	125 غرامًا	162.75 غرامًا
زيت زيتون	75 مليلترًا	63.75 مليلترًا	99.75 مليلترًا
الصودا	12.5 غرامًا	12.7 غرامًا	27.44 غرامًا

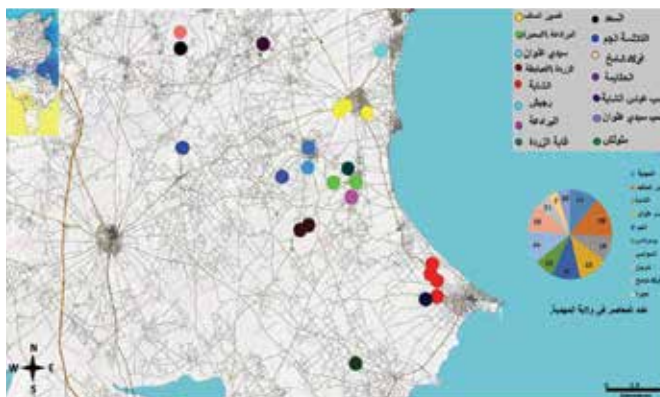
3- النتائج والمناقشة

أجريت دراستنا في ولاية المهديّة نظرًا إلى مساهمتها الكبيرة في إنتاج الزيتون وقدرتها على العصر وإنتاج الزيت، حيث بلغت تقديرات موسم 2020/2019 قرابة 253 ألف طن من الزيتون أي ما يعادل 51 ألف طن من الزيت،¹⁰ ونتج من ذلك استخراج كميات كبيرة من مادة المرجين (الشكل 2).

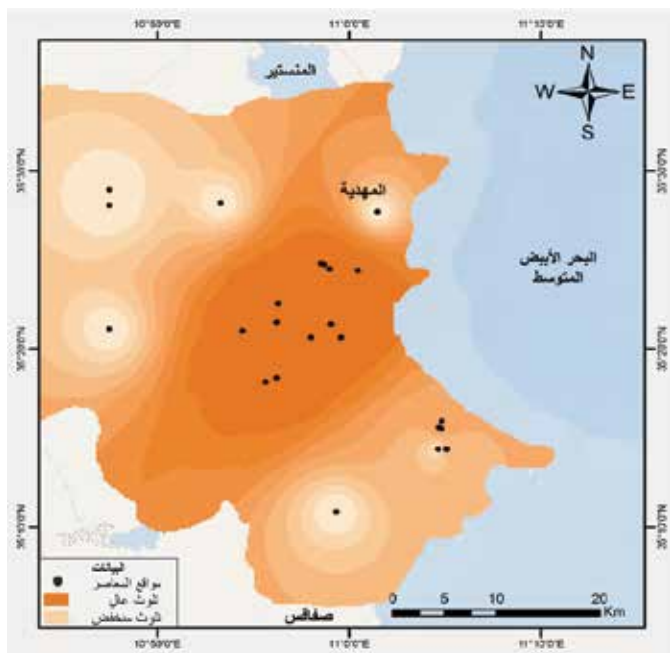


الشكل 2. تقديرات الإنتاج الجملي للزيتون والزيت بمعتمديات ولاية المهديّة.

قبل أخذ العينات، أجرينا دراسة ميدانية مع أصحاب معاصر الزيتون ومزارعي الزيتون في منطقة المهديّة. وبالإشارة إلى نتائج الدراسة، تبين أن العديد من المشاكل التي واجهها أصحاب المعاصر بعد عملية استخراج الزيت، ولا سيما فيما يتعلق بمادة المرجين، تكمن في تلويث هذه المادة للطبيعة وتكاليف نقلها ومعالجتها وكيفية إعادة استعمالها (الشكلان 3 و4 والجدول 2).



الشكل 3. مختلف المعاصر الموجودة في ولاية المهديّة.



الشكل 4. التوزيع المكاني لتأثير التلوث بمادة المرجين في منطقة الدراسة.

كما قدّمنا/ شارك في هذه الدراسة 39 شخصًا من المزارعين وأصحاب معاصر الزيتون من مناطق مختلفة في ولاية المهديّة؛ أفصح 22 منهم أنهم ينقلون مادة المرجين إلى مصبّ نفايات عام أو خاص، مقابل 13 شخصًا يقومون بتصريفها مباشرة في البيئة. ويدفع جميع أصحاب المعاصر مقابل نقل مادة المرجين، ويدعمون تطوير طريقة جديدة لمعالجتها. ويدرك حوالي 82% من المشاركين مخاطر هذه المادة على الطبيعة وصحة الإنسان. كما بينت الدراسة أهمية قطاع الزيتون في ولاية المهديّة بصفة خاصة، وفي تونس بصفة عامة، انطلاقًا من مكانته الاستراتيجية في الاقتصاد الوطني. وبيّنت أيضًا درجة وعي الفلاحين وأصحاب المعاصر حول مادة المرجين وطرق التصرف فيها. وقد كان بعضهم واعيًا بأهمية هذه المادة في تحسين إنتاجية الزيت ونوعيته، وأشاروا إلى حسن استغلالها سمادًا في غابات الزيتون والأشجار المثمرة، ودورها في تحسين المردودية والحفاظ على التربة.

الجدول 2. ملخص لنتائج الاستبيان بخصوص رأي أصحاب معاصر الزيتون والمزارعين في منطقة المهديّة.

المنطقة	عدد أشجار الزيتون	نوع النشاط		طريقة التعامل مع مادة المرجين		دفع تكاليف النقل	راضٍ عن طريقة المعالجة	واعٍ بمخاطر مادة المرجين على		قبول تطوير طريقة جديدة تمكن من معالجة هذه المادة
		صاحب معصرة	مزارع	السكب المباشر في الطبيعة	التحويل إلى مصب نفايات خاص أو عام			صحة الإنسان	البيئة	
قصور الساف	2100	x	x		x	x	x	x	x	x
قصور الساف	—	x			x	x		x	x	x
قصور الساف	—	x			x	x		x	x	x
البرادعة	—	x			x	x		x	x	x
البرادعة	—	x		x		x		x		x
سيدي علوان	—	x			x	x		x	x	x
سيدي علوان	600	x			x	x	x			x
الزردة	—	x			x	x			x	x
الزردة	—	x			x	x			x	x
العباية	150	x			x	x			x	x
طريق واد باجة	—	x			x	x			x	x
شربان	—	x			x	x			x	x
الغضابنة	—	x			x	x			x	x
الشابة	500	x		x		x			x	x
الشابة	250	x			x	x			x	x
الشابة	1500	x			x	x				x
الشابة	150	x			x	x				x
اولاد شامخ	1000	x			x	x			x	x
رجيش	—	x			x	x			x	x
رجيش	—	x			x	x			x	x
غابة الزردة	500		x		x				x	x
البرادعة/ الزردة	120	x	x	x					x	x
البرادعة	400	x	x	x					x	x
السعد	80	x	x	x				x	x	x
السعد	60	x	x	x				x	x	x
المثلية / المهديّة	80	x			x				x	x
السعادة/ سيدي علوان	300	x			x				x	x
التلالسة/ الجم	509		x		x				x	x
السعادة/ سيدي علوان	300	x	x	x					x	x
حكايمة الشرقية	80	x	x	x				x	x	x
ملولش	—	x		—	—					x

x					x	x	200	قصور الساف
x	x	x		—	—	x	300	غابة البرادعة
x		x			x	x	1000	البرادعة
x	x	x		—	—	x	470	الزردة
x	x	x		—	—	x	460	البقالطة/ غابة قصور الساف
x	x	x		x		x	600	رشارشة
x	x	x		—	—	x	27000	هبيرة/ شربان
x	x	x		—	—	x	100	أولاد شامخ

عندما يصبح مشبعًا تمامًا وهي 100%. فالهواء الذي رطوبته النسبية مثلاً 30% يكون أكثر ملائمة لنشاط التبخر من الهواء الذي رطوبته النسبية 40%. وتظهر النتائج التي حصلنا عليها فاعلية عامل درجة الحرارة في النموذج أثناء معالجة مادة المرجين (الجدول 3، الشكل 5).



الشكل 5. تجميع المياه المتبخرة أثناء معالجة مادة المرجين.

3-1 معالجة مادة المرجين في نموذج مغلق للتبخر الطبيعي

يساوي حجم الحوض الداخلي للنموذج 32000 سنتيمتر مكعب (32 لترًا) من العينة. وُضع النموذج في الخارج (فناء وحدة البحث في التحاليل والأساليب المطبقة في البيئة بالمعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بالمهدية). ووُضعت 10 لترات من مادة المرجين، وهو ما يتوافق مع ارتفاع العينة في الحوض المقدر بحوالي 3.5 سنتيمترات (الشكل 4). وأعيدت التجربة مرتين متتاليتين في الفترة نفسها. وتمت مراقبة النموذج وعملية سير المعالجة لمادة المرجين يوميًا، وقياس درجة الحرارة الرطبة والجافة ومستوى مادة المرجين أثناء المعالجة. بطبيعة الحال، العلاقة بين درجة الحرارة والتبخر علاقة طردية واضحة. ولدرجة الحرارة أيضًا تأثير آخر غير مباشر في الرطوبة النسبية للهواء، ولهذه الرطوبة بدورها تأثير قوي في التبخر الذي يحدث طالما لم يصل الهواء إلى درجة التشبع، وتتوقف سرعة التبخر على مقدار الفرق بين الرطوبة النسبية الفعلية للهواء ورطوبته النسبية

الجدول 3. المتابعة اليومية للنموذج أثناء معالجة مادة المرجين.

اليوم	وقت سحب العينة	درجة الحرارة الرطبة (درجة مئوية)	درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية)	الرطوبة النسبية (%)	مستوى المرجين (سنتيمتر)	كمية المرجين (مليتر)	المياه المجمعة (مليتر)
0	12:00	24	30	61	3,5	10000	-
	14:00	38	48	53	3,5	-	-
1	09:00	20	25	63	3,4	-	-
2	10:00	20	28	48	3,3	9490	510
	14:00	20	25	63	3,3	-	-
3	10:00	20	24	69	3,4	-	-
	12:00	20	25	63	4,3	-	-
4	09:00	19	22	76	3,2	-	-
5	11:00	40	47	65	3,2	8610	880
7	10:00	26	36	45	3	-	-
	14:00	44	49	74	2,7	7956	654
8	10:00	23	30	55	2,7	-	-
9	11:00	35	42	62	2,7	-	-
10	11:00	32	40	57	2,5	-	-

720	7236	2,5	39	30	20	09:30	11
-	-	2,5	66	49	42	12:30	
-	-	2,5	49	42	32	11:00	12
-	-	2,1	52	40	31	10:30	14
1845	5391	2,1	56	32	25	10:00	15
-	-	1,8	57	49	40	11:30	16
-	-	1,7	55	45	36	11:30	17
852	4539	1,5	55	37	29	12:00	18
-	-	1,5	58	26	20	10:00	19
-	-	1,5	65	45	38	14:00	
796	3743	1,3	62	32	26	11:30	21
-	-	1,3	43	29	20	09:00	22
-	-	21,	52	40	31	11:30	23
-	-	1,2	64	36	30	10:30	24
-	-	1,1	45	31	22	09:30	25
-	-	1	57	49	40	14:30	26
-	-	0,7	65	47	40	12:00	28
1540	2203	0,5	54	42	33	12:00	29

0.003 مليغرام/ لتر؛ 5.049 ± 0.004 مليغرام/ لتر و 0.008 ± 0.001 مليغرام/ لتر، على التوالي) وتتميز برقم هيدروجيني حمضي (3.26 ± 0.092). وتبين كل هذه النتائج النوعية الجيدة للمياه المنتجة، حسب المعايير التونسية للمياه المعالجة المتأتبة من مصانع الزيوت والدهون.¹¹ كما أظهرت النتائج أن مادة المرجين تحتوي على نسبة عالية من المواد الخطرة على حياة الإنسان، أهمها الفينول والأكسجين الكيميائي. ويظهر تأثير هذه المركبات السامة بشكل مباشر في الأعضاء الحساسة والأنسجة داخل جسم الإنسان والحيوان، وتعد الرئة والكبد والجهاز البولي والتناسلي أكثر الأعضاء تضرراً.¹² ويمكن أن تدخل الأبخرة السامة المتكونة من عملية تبخير مادة المرجين إلى الجهاز التنفسي وتنتقل بسهولة إلى الدورة الدموية. وجد بعض الباحثين أن تعرض خلايا أجنة الهامستر للفينول والكاتيكول ينتج عنه التحول الخلوي، والطفرة الجينية، وتخليق الحمض النووي غير المجدول، والانحرافات الكروموسومية، وتبادل الكروماتيدات الشقيقة.¹³ وأظهرت أيضاً الدراسات التي أجريت في المختبر على الخلايا الليمفاوية البشرية أن الكاتيكول والفينول قد تسببا بشكل كبير في تكوين النوى الدقيقة، وكذلك زيادة عدد الخلايا المجهرية الحركية الموجهة.¹³

وبعد 30 يوماً من معالجة 10000 مليلتر (10 لترات) من مادة المرجين، جُمع 7797 مليلترًا من الماء، ووُزنت المادة الصلبة المتبقية (العجينة) فكانت 2.130 كيلو غرام (الجدول 3). وبلغت نسبة العائد من هذه العملية حوالي 78.7%. وتبين هذه النتائج بوضوح كفاءة وفعالية النموذج الذي يعمل بالطاقة الشمسية لمعالجة مادة المرجين. ويمكن اعتبار هذا النموذج خياراً عملياً وفعالاً للتطبيقات الصناعية.

2-3 مراقبة جودة المياه المنتجة

يوضح الجدول 4 الخصائص الفيزيوكيميائية الرئيسية لمادة المرجين والمياه المنتجة بعد المعالجة. وأظهرت نتائج الدراسة أن الماء المنتج أقل تركيزاً بالمواد العضوية المقيّمة بدلالة (COD) (0.001 ± 0.125 غرام/ لتر) و (BOD) (0.0006 ± 0.0387 غرام/ لتر) من مادة المرجين (763.76 ± 14333.33 غراماً/ لتر) و (208.17 ± 4683.33 غرامات/ لتر) على التوالي. وأظهرت نتائج الدراسة مستويات منخفضة من البولي فينول والكلوريد والفوسفات والكبريتات والنترات (0.005 ± 0.012 مليغرام/ لتر؛ 0.02 ± 0.037 غرام/ لتر؛ 0.038 ±

المعايير	القيمة	
	المرجين	المياه المنتجة
اللون	بني محمر إلى أسود	شفاف
الرائحة	قوية	خفيفة
المواد العالقة (غرام / لتر)	500 ± 6200	0.0006 ± 0.0034
الطلب على الأكسجين البيوكيميائي (غرام / لتر)	763.76 ± 1 4333.33	0.001 ± 0.125
الطلب على الأكسجين البيولوجي (غرام / لتر)	208.17 ± 4683.33	0.0006 ± 0.0387
الكربون العضوي الكلي (غرام / لتر)	114.56 ± 2175	0.0 01± 0.027
المادة العضوية (غرام / لتر)	393.36 ± 7900	0.0007 ± 0.0674
الهالوجين العضوي القابل للامتصاص (غرام / لتر)	0.07 ± 0.18	0.15 ± 7.63
الموصلية الكهربائية (ميكروسيمنز / سنتيمتر)	0.4 ± 14.23	0.006 ± 0.3
الحرارة	0.35 ± 18.6	0.15 ± 17.47
درجة الحموضة	0.07 ± 4.98	0.092 ± 3.26
العكارة (FAU)	2 ± 1966	0
الملوحة (جرام / لتر)	0.002 ± 10.52	0.003 ± 0.259
الصلابة (مول / لتر)	3 ± 1000	0.12 ± 6.5
الرطوبة (%)	0.003 ± 97.07	0.001 ± 99.96
المادة الجافة (%)	0.003 ± 2.93	0.001 ± 0.04
المادة المعدنية (%)	0.002 ± 1.63	0.003 ± 0.02
الكلوريد (غرام / لتر)	0.13 ± 3.26	0.02 ± 0.037
الفوسفات (مليغرام / لتر)	0.052 ± 0.955	0.003 ± 0.038
الكبريتات (مليغرام / لتر)	0.02 ± 139.23	0.004 ± 5.049
النترات (مليغرام / لتر)	0.086 ± 6.977	0.001 ± 0.008
النيتروجين الكلي (%)	0.07 ± 0.84	0
البوليفينول (مليغرام / لتر)	2.04 ± 142.6	0.005 ± 0.012
الدهون (مليغرام / لتر)	2 ± 108	0.2 ± 4.5
الجلوكوز (مليمول / لتر)	0.2 ± 30.24	0.003 ± 0.099
مؤشر التحلل البيولوجي	3.06	3.23

الجودة المعمول بها، وتؤكد جودة هذه المياه بوضوح فاعلية نظام المعالجة. أما بالنسبة إلى المعادن الأخرى التي تم تحليلها مثل الحديد (Fe) والنيكل (Ni) والكوبالت (Co) والرصاص (Pb) والكاديوم (Cd) والكروم (Cr)، فإن التحليلات لم تسمح لنا باكتشافها في العينتين الأخريين (المياه المنتجة والمرجين).

وتكشف النتائج فيما يتعلق بمحتويات العناصر النزرة المعدنية عن قيم منخفضة جدًا للزنك (Zn) والنحاس (Cu) في المياه المنتجة بقيم كل منها (0.005 ± 0.24) و (0.003 ± 1.38) جزء في المليون، وبقيم أعلى في حالة مادة المرجين (0.025 ± 3.192) و (0.041 ± 6.587) جزء في المليون، على التوالي (الجدول 5). ويبدو أن هذه المياه المنتجة تتوافق مع معايير

المعالجة

بعد معالجة مادة المرجين عن طريق التبخر الطبيعي، تم تحصيل 2130 غرامًا من العجينة، وقد تم إعادة استعمال هذه العجينة عن طريق اختبارات صنع الصابون البارد. وقبل البدء في صنع الصابون، تم حساب معاملات التصبن (قيمة التصبن وقيمة اليود).

كانت قيمة التصبن (SI) للزيت الذي تم اختباره هي 7.01 ± 189.33 مليغرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم/ غرام من الزيت (الجدول 7). وتتوافق هذه القيمة مع المعيار الذي أعلم عنه المجلس الدولي لزيت الزيتون التي تتراوح بين 185 و196 مليغرامًا من هيدروكسيد البوتاسيوم/ غرام من الزيت، ويمكن تفسيرها من خلال حقيقة أن عينة الزيت المأخوذة من ولاية المهديّة تحتوي على سلاسل كربونية طويلة لا تكاد تتغير بفعل الهواء والحرارة، ما يجعلها شديدة المقاومة للظروف البيئية.¹⁵

الجدول 7. معلمات التصبن.

الإفراط في التشحيم (%)	صلابة الصابون	مؤشر اليود (غرام/ 100 غرام من الزيت)	مؤشر التصبن (مليغرام KOH/ غرام من الزيت)	زيت الزيتون المستخدم
8	9.88 ± 137.89	2.87 ± 51.44	7.01 ± 189.33	

توضح قيمة اليود (II) درجة عدم تشبع الزيت، ومن ثم استعداده للأكسدة. تكون المادة الدهنية أكثر حساسية للأكسجين عندما تتكون من عدد كبير من الروابط المزدوجة. وفي حالتنا، تساوي قيمة اليود 51.44 ± 2.87 غرام/ 100 غرام من الزيت (الجدول 7). وتؤكد هذه النتيجة أن نوعية الزيت المستعمل مقاوم للعوامل أو التأثيرات البيئية.

وقد بلغت قيمة صلابة الصابون (INS: Iodine Number Saponification) المتحصل عليها 9.88 ± 137.89 (الجدول 7). وتتوافق هذه القيمة مع القيم التي قدمها بعض الباحثين، والتي تتأرجح بين 15 و250 للمواد الدهنية المناسبة لصنع الصابون.

يحتوي هذا الصابون على نسبة 8% من الدهون، وهذا النسبة الفائقة تشير إلى الدهون الزائدة التي تبقى في الصابون عند اكتمال تفاعل التصبن والانتها من صنع الصابون. ويمكننا أن نستنتج أنه تم ضمان هدفين، الأول أن منتج الدراسة النهائي لا يحتوي على أي أثر للصدأ، والثاني هو أن هذا الصابون خفيف وله طابع مرطب.

ويبين الشكل (6) أنواع الصابون المختلفة المصنعة في هذه الدراسة. بعد شهر واحد من التجفيف بالهواء، يكون للصابون مظهر نظيف وصلب وسلس، ونوعية جيدة جدًا، ورغوته وفيرة وثابتة. وبعد انتهاء فترة تجفيف الصابون، تم التأكد من جودته.

العناصر	القيمة	
	المرجين (جزء في المليون)	المياه المنتجة (جزء في المليون)
الحديد	غير محدد	غير محدد
الزنك	0.025 ± 3.192	0.005 ± 0.24
النحاس	0.041 ± 6.587	0.003 ± 1.38
النيكل	غير محدد	غير محدد
الكوبالت	غير محدد	غير محدد
الرصاص	غير محدد	غير محدد
الكادميوم	غير محدد	غير محدد
الكروم	غير محدد	غير محدد

ركزت التحاليل الميكروبيولوجية للعينات (المرجين والمياه المنتجة) على تعداد الكائنات الحية الدقيقة مثل السالمونيلا، والبكتيريا القولونية، والكائنات الحية الدقيقة أليفة الاعتدال، وبكتيريا الضمة، وبكتيريا المكورات العنقودية، وبكتيريا المكورات المعوية، وبكتيريا المكورات العقدية، وبكتيريا القولون، والخمائر والفطريات، وبكتيريا حمض اللاكتيك، من أجل تحديد قدرتها على البقاء على قيد الحياة في بيئة حمضية.

تعتبر المواد الفينولية الموجودة في المرجين سامة وتمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة في وجود أو انعدام الأكسجين. وقد حدد الباحثون عددًا من مركبات الفلافونويد والفينولات والغلوكوزيدات الفينولية التي لها خاصية منع نمو بعض البكتيريا، بما في ذلك بكتيريا حمض اللاكتيك والفطريات. وتمنع المواد الأخرى، مثل الأحماض الدهنية ومشتقاتها، تكوين الجراثيم في التربة. ومع ذلك، فإن العديد من الكائنات الحية الدقيقة تنمو في المرجين وتستخدمها مصدرًا للكربون. تظهر النتائج الإحصائية لعدد الجراثيم الواردة في الجدول 6 الغياب التام للكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض في الماء المنتج؛ إذ إن البيئة الحمضية غير المناسبة تسببت في انخفاض معدل النمو وزيادة الحساسية تجاه العوامل المانعة الأخرى.^{14, 2}

الجدول 6. التحاليل الميكروبيولوجية للمرجين والمياه المنتجة.

الكائنات الحية	المرجين (وحدة تشكيل المستعمرات/ مليلتر)	الماء المنتج (وحدة تشكيل المستعمرات/ مليلتر)
البكتيريا أليفة الاعتدال	6.8×10^7	0.8×10^5
البكتيريا القولونية	0	0
المكورات العنقودية	0	0
المكورات العقدية	0	0
المكورات المعوية	0	0
بكتيريا السالمونيلا	0	0
بكتيريا الضمة	0	0
الخميرة	1.07×10^7	0
الفطريات	0	0
بكتيريا حمض اللاكتيك	2.83×10^8	0



الشكل 6: التجارب الثلاث لصنع الصابون.

وفيما يتعلق بقوة الاستحلاب، تُظهر النتائج أنه في الماء النقي تتشكل نسبة قليلة من المذيلات، بينما في خليط الماء والصابون، يكون عدد المذيلات كبيراً جداً (الجدول 8). وكلما زاد عدد المذيلات، زادت قوة الاستحلاب، وزادت قدرة هذا الصابون على إزالة الأوساخ وتذويبها في الماء.

ترجع قوة إزالة الشحوم بشكل عام إلى أيونات الكربوكسيل التي تتميز برأس محب للماء ($-COO^-$) يتفاعل مع جزيئات الماء القطبية وذيل محب للدهون لا يتفاعل مع الماء. وعند ملامستها للماء والصابون، تنظم أيونات الكربوكسيل نفسها في مذيلات، ومن ثم تحبس الشحوم والأوساخ التي تنقلها المياه بعد الشطف. وفي الختام، تعد إعادة استعمال عجينة المرجين جزءاً من مقارنة اقتصادية من أجل تشجيع مصانع الزيت على عدم تصريف مادة المرجين في البيئة، ولكن اعتبارها منتجاً ثانوياً قابلاً للاستعمال.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن درجة الحموضة (pH) للصابون هي قلوية (الجدول 8)، وهي بذلك تتفق مع تلك التي توصلت إليها أبحاث أخرى، والتي تتراوح بين 9 و11. لذا، فإن هذا الصابون جاهز ولا يمثل أي خطر في الاستخدام، وسيتم الأشهاد على هذا المنتج من طرف المعهد الوطني للمواصفات والملكية الصناعية للمصادقة عليه.

تتفاعل مادة الصودا الكاوية (NaOH) مع المكونات الأخرى تفاعلاً كلياً، إذ لا توجد كمية متبقية من الصودا الكاوية في الصابون، ولكن على عكس ذلك، هناك كمية زائدة من الزيت موجودة في الصابون. إذا لا يتحول هذا الزائد بواسطة جزيئات الصودا ويبقى في الصابون ويساعد على تغذية البشرة. ويؤدي استخدام الصابون إلى تكوين رغوة وفيرة (الجدول 8). وتتكون الرغوة، من خلط الصابون مع الماء، من فقاعات هواء محاصرة بين ذيول كارهة للماء، وتواجه الهواء على سطح السائل.

وأوضحت النتائج أيضاً أنه بالنسبة إلى المياه النقية، تكون قوة الترطيب منخفضة جداً لأن التوتر السطحي مرتفع مع قلة انتشار السائل، ومن ثم يتم تشريب القماش ببطء. وأثناء استخدام الماء والصابون، فإن قوة الترطيب مهمة جداً (الجدول 8)؛ لأن التوتر السطحي قد انخفض، فينتشر السائل ويصبح الترطيب أفضل. لذا، يقلل هذا الصابون من التوتر السطحي ويساهم في انتشار الماء الذي يلامس السطح المراد غسله، ومن ثم يحسن من قوة الترطيب.

الجدول 8. المعلمات المراد فحصها بعد التصبن.

التجربة	درجة الحموضة	قوة الرغوة		قوة الترطيب		قوة الاستحلاب		قوة إزالة الشحوم	
		اختبار التصبن	ماء مقطر	اختبار التصبن	ماء مقطر	اختبار التصبن	ماء مقطر	اختبار التصبن	ماء مقطر
1	10.39	-	++	+	+	-	+	+	+
2	9.67	-	+	++	+	-	++	+	++
3	9.87	-	+	+	+	-	++	+	++

4- الاستنتاجات

أجل تشجيع المعاصر على عدم نشر هذه المادة في الطبيعة، ولكن اعتبارها منتجاً ثانوياً قابلاً للتدوير. وأظهرت هذه الدراسة فاعلية النموذج الإيكولوجي «المبخر الطبيعي» الذي تم تصميمه لمعالجة مادة المرجين، وقد بينت أن هذه العملية تعد بديلاً جديداً وواعداً للحفاظ على البيئة بشكل أفضل وبتكلفة أقل. وتبدو هذه النتائج واعدة جداً، وتستحق استكمالها بدراسات إضافية تركز على استخدام المياه المعالجة التي تم الحصول عليها في مجالات مختلفة.

شكر

أنجز هذا البحث بتمويل من منظمة المجتمع العلمي العربي.

مكتنتنا هذه الدراسة من التعرف على الأضرار المختلفة الناجمة عن تسرب مادة المرجين في البيئات الطبيعية، مما يتسبب في مشاكل بيئية خطيرة مثل تدهور جودة المياه، وتدمير التنوع البيولوجي للتربة، وذلك بسبب ثراء هذه المخلفات السائلة بالمركبات الفينولية والمواد العضوية. لذلك، أصبح تجميعها ضرورة ملحة لجميع المعاصر. ويكمن الجانب المهم من هذه الدراسة في اختيار العلاج المناسب الذي ركز على تطبيق عملية إيكولوجية تتمثل في التبخر الطبيعي، مما أدى إلى انخفاض كبير في الملوثات العضوية والبولىفينول والمواد العالقة. تعد عملية إعادة تدوير مادة المرجين من العمليات الهامة وذات الكفاءة العالية، ويمثل جزءاً من النظام الاقتصادي من

1. S'habou R, Zairi M, Kallel A, Aydi A, Dhia HB. Assessing the effect of an olive mill wastewater evaporation pond in Sousse, Tunisia. *Environmental Geology*. 2009;58(3):679. <https://doi.org/10.1007/s002543-1542-008->.
2. Jarbouli 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>.
3. Chouchene A. Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique [doctoral dissertation]. Université de Haute Alsace-Mulhouse; 2010.
4. Regni L, Gigliotti G, Nasini L, Agrafioti E, Galanakis CM, Proietti P. Reuse of olive mill waste as soil amendment. *Olive Mill Waste*. 2017; 97-117. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-4-0.00005-805314-12>
5. Murphy J, Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*. 1962;27:31-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-5-88444\(00\)2670](https://doi.org/10.1016/S0003-5-88444(00)2670).
6. Fetouani S, Sbaa M, Vanclooster M, Bendra B. Assessing ground water quality in the irrigated plain of Triffa (north-east Morocco). *Agricultural Water Management*. 2008;95(2) :133-142. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.009>.
7. Abouelouafa M, El Halouani H, Kharboua M, Berrichi A. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda: canal principal et Oued Bounaïm. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*. 2002 ;22(3) :143-150.
8. Aubert G. Méthodes d'analyses des sols. Edition C.R.D.P. Marseille; 1978.
9. Makkar HP, Blümmel M, Borowy NK, Becker K. Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1993;61(2):161-165. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610205>.
10. Commissaire régional pour le développement agricole à Mahdia. Tunisie- Une récolte record des olives au gouvernorat de Mahdia; 2019.
11. Tunisian standard NT.106.002. On the discharge of effluent into the aquatic environment (Environmental Protection), Standard approved by decree of the Minister of Economy of 20 July 1989, JORT n059, Tunisia, pp. 1332.
12. Nair CI, Jayachandran K, Shashidhar S. Biodegradation of phenol. *African Journal of Biotechnology*. 2008 ;7(25): 49514958-.
13. El Hajjouji H, Pinelli E, Guiesse M, Merlina G, Revel JC, Hafidi M. Assessment of the genotoxicity of olive mill waste water (OMWW) with the *Vicia faba* micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2007;634(1-2):25-31.
14. World Health Organization (WHO). Wastewater stabilization ponds-principles of planning and practice. WHO EMRO Technical Publication. 1987: p. 131.
15. Conseil oléicole international Méthode d'évaluation organoleptique de l'huile d'olive vierge. COI/T.20/Doc. n° 15/Rév. 10 2018; 2018.

