

Assessment of Indoor Air Pollution from Burning Local Incense in Ubari, Libya: Concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀

Amna Almbrouk Elareffi^{1*}, Khaled Ali Ahmed Benyousef², Nawal Mohamed El Hadi El Sharif³

^{1,3}Department of Environmental and Occupational Health and Safety, Faculty of Environment and Natural Resources, University of Wadi Al-Shati, Brak Al-Shati, Libya

²Department of Environmental and Petroleum Technologies, Faculty of Environment and Natural Resources, University of Wadi Al-Shati, Brak Al-Shati, Libya

تقييم تلوث الهواء الداخلي الناتج عن حرق أنواع من البخور المحلي في مدينة أوباري

أمينة المبروك العريفي^{1*}، خالد علي أحمد بن يوسف²، نوال محمد الهادي الشريف³
^{1,3}قسم الصحة والسلامة البيئية والمهنية، كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ، ليبيا
²قسم التقنيات البيئية والنفطية، كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ، ليبيا

*Corresponding author: a.elareffi@wau.edu.ly

Received: January 09, 2026 | Accepted: February 11, 2026 | Published: February 21, 2026
Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract:

Burning incense is a prevalent cultural practice in many Arab and Asian countries; however, it significantly contributes to indoor air pollution due to the release of both fine and coarse particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀). This study aimed to evaluate the concentration levels of suspended particulate matter resulting from the combustion of various locally used incense types in Ubari, Libya. Eight commonly used incense samples were analyzed, including oud, shih, fiso'kh, jarareem, children's incense, oud mixture, jawi, and washaq, utilizing olive wood charcoal as the combustion source. Measurements were taken in a sealed indoor room at intervals of 10, 30, and 60 minutes after ignition, using a Handheld Air Tester (APEX CJ651). Results indicated that background concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ prior to burning were within the World Health Organization's limits (below 25 and 50 µg/m³, respectively). However, the combustion of incense and charcoal led to a significant increase in particle concentrations. The highest emissions were recorded for shih, fiso'kh, jarareem, and washaq, reaching 500 µg/m³ for PM_{2.5} and 1000 µg/m³ for PM₁₀. In contrast, oud and the oud mixture resulted in the lowest emissions. These findings suggest that certain types of incense may pose health risks by elevating indoor particulate levels well above recommended thresholds. It is advisable to promote the use of low-emission incense and enhance indoor ventilation during burning to reduce exposure.

Keywords: Incense smoke, PM_{2.5}, PM₁₀, indoor air pollution, Libya, air quality.

المخلص:

يعتبر حرق البخور ممارسة ثقافية شائعة في العديد من الدول العربية والآسيوية، إلا أنه يمثل مصدرًا مهمًا لتلوث الهواء الداخلي بسبب انبعاث الجسيمات الدقيقة (PM_{2.5}) والخشنة (PM₁₀). هدفت هذه الدراسة إلى تقدير تراكيز الجسيمات العالقة الناتجة عن احتراق أنواع مختلفة من البخور المستخدم محليًا في مدينة أوباري - ليبيا. تم اختبار ثمانية أنواع من البخور المنتشرة محليًا (العود، الشيح، الفيسوخ، الجراريم، بخور الأطفال، العود المعطر، الجاوي، والوشق) باستخدام فحم

مصنوع من شجر الزيتون كمصدر للاحتراق. أجريت القياسات في غرفة مغلقة عند فترات زمنية 10، 30، و60 دقيقة بعد الحرق باستخدام جهاز APEXCJ651. أظهرت النتائج أن تراكيز الجسيمات قبل الحرق كانت ضمن الحدود المسموح بها من منظمة الصحة العالمية (25 ميكروغرام/م³ لـ PM_{2.5} و50 ميكروغرام/م³ لـ PM₁₀). بينما سجلت تراكيز مرتفعة جدًا أثناء الاحتراق، خصوصًا في أنواع الشيح، الفيسوخ، الجراريم، والوشق، حيث بلغت 500 و1000 ميكروغرام/م³ على التوالي. في المقابل، كانت انبعاثات بخور العود والعود المعطر الأقل. تشير النتائج إلى أن بعض أنواع البخور قد تمثل خطرًا صحيًا محتملاً نتيجة ارتفاع تركيز الجسيمات الدقيقة في الهواء الداخلي. وتوصي الدراسة باستخدام بخور منخفض الانبعاث وتحسين التهوية أثناء الاستخدام للحد من التعرض.

الكلمات المفتاحية: دخان البخور، الجسيمات الدقيقة PM_{2.5} وPM₁₀، تلوث الهواء الداخلي، جودة الهواء، البخور المحلي.

مقدمة:

من المعروف أن حرق البخور داخل المنزل، يعتبر ممارسة شائعة في الدول العربية والآسيوية، فهي ممارسة ثقافية، لتعطير الملابس والمنازل، لإزالة روائح الطعام المرتبطة بالطهي، وفي حفلات الزفاف، (Cohen et al., 2013). يحرق البخور أيضا إلى جانب العديد من الطقوس المقدسة في مناطق مختلفة من العالم (Yadav et al., 2022). كما تعتبر بعض الثقافات أن للبخور خصائص مطهرة وشفائية أو يساعد على تحسين المزاج. في الوقت الحاضر، يتم ممارسة حرق البخور بشكل يكاد يكون يومي داخل المنازل والأماكن العامة بما في ذلك المتاجر ومراكز التسوق (Jetter et al., 2002). وبسبب استخدامه على نطاق واسع، يتعرض العديد من الأفراد لأبخرته لفترات طويلة خلال اليوم، فهو بذلك يعتبر مصدر محتمل لتلوث الهواء الداخلي (Cohen et al., 2013). حيث يميل الدخان الناتج عن حرق البخور في بيئة داخلية رطبة وسيئة التهوية إلى البقاء على مدى فترات طويلة (Mesallam et al., 2015). يتم حرق البخور بطريقة غير مكتملة وبطيئة وطويلة فينتج دخان البخور الذي يحتوي على غاز وجسيمات، وبالتالي يزيد من تركيز الجسيمات الدقيقة داخل المنازل، فهذا يؤثر بشكل مباشر على جودة الهواء وبالتالي على صحة الإنسان (Kuo et al., 2015).

المواد المستخدمة لإنتاج البخور تشمل مجموعة واسعة من المواد منها: مواد صمغية (مثل اللبان والمر)، التوابل، الأخشاب العطرية واللحاء (مثل خشب الصندل، خشب العود، القرفة، والجليسيريزا، واليانسون)، الأعشاب، البذور، الجذور، الزهور، الزيوت الأساسية، والمواد الكيميائية البديلة الاصطناعية المستخدمة في صناعة العطور (Jetter et al., 2021) (Chen et al., 2002). المكونات الثابتة لماركات البخور هي 21% (بالوزن) من مسحوق الأعشاب والخشب، و33% من أعواد الخيزران، و35% من المواد العطرية، و11% من مسحوق لاصق (Yadav et al., 2022).

يمكن تقسيم الانبعاثات الناتجة عن حرق البخور إلى فئتين؛ الجسيمات والغاز. فهي تنبعث بشكل متزامن مما يعرض المتلقين لخليط معقد. بسبب التباين في تركيبة البخور في جميع أنحاء العالم، فإن طبيعة دخان البخور متغيرة بشكل كبير (Cohen et al., 2013). تشير الدراسات التي تمت على الانبعاثات الناتجة عن حرق البخور إلى أن التعرض لبيئة حرق البخور لفترات طويلة يمكن أن يسبب تهيج مزمن عند ملامسة الجلد، والصداع النصفي، وحساسية الجهاز التنفسي الكيميائية، وحتى السرطان (Navasumrit et al., 2008).

الجسيمات العالقة (PM) هي نوع من ملوثات الهواء التي تؤثر على عدد كبير من الأشخاص وهي مسؤولة عما يقرب من 9 ملايين حالة وفاة سنويًا في جميع أنحاء العالم (Wang et al., 2023). ويتكون تركيبه الكيميائي من أيونات غير عضوية (مثل الكبريتات والنترات والأمونيوم والمعادن القابلة للذوبان)، والمعادن غير القابلة للذوبان، والكربون، والمركبات العضوية بما في ذلك الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات PAHs وثنائي الفينيل متعدد الكلور، والمكونات البيولوجية (مسببات الحساسية)، والعوامل الميكروبية، والماء (Oliveira et al., 2019). ونظراً لاختلاف البيئات الداخلية، قد يختلف التركيب الكيميائي للجسيمات بشكل كبير.

تعتبر الأنشطة الداخلية للسكان من المصادر الأساسية للجسيمات المحمولة بالهواء الداخلي، كالطبخ، التدخين، التنظيف، التدفئة، حرق البخور أو الشموع والأجهزة الكهربائية المجهزة بمحركات. يمكن أن تؤدي حركة شاغلي المنزل إلى إعادة تعليق الجسيمات العالقة في الهواء الداخلي، وبالتالي يرفع مستويات الجسيمات بحجم 10 ميكرومتر (Wang et al., 2023).

لطالما اعتبرت الجسيمات التي يقل قطرها عن 10 ميكرومتر (PM₁₀) مصدر قلق صحي لأنها عند استنشاقها يمكن أن تتراكم في الجهاز التنفسي. يشكل PM_{2.5} خطراً على صحة الإنسان لأنه قادر على التغلغل عميقاً في الرئتين وهو بذلك أكثر سمية من PM₁₀ بسبب بقائه لفترة طويلة في الهواء وتغلغله بشكل أعمق داخل الرئتين (Wang et al., 2023). يمكن أن تؤدي المصادر الداخلية إلى زيادة حادة في تركيز الجسيمات الدقيقة في الأماكن المغلقة، مما يؤثر بشكل كبير على التعرض الفردي. تحدد التأثيرات الصحية للجسيمات الدقيقة بثلاثة عوامل رئيسية: وقت التعرض، تركيز التعرض والسمية الكيميائية. أظهر نموذج جودة الهواء الداخلي (indoor air quality model) أن تركيز الـ PM_{2.5} في الهواء الداخلي يمكن أن يتجاوز تركيزها في الهواء الخارجي، المحددة من قبل المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط التابعة لوكالة

حماية البيئة الأمريكية (NAAQS)، لذلك يمكن أن يشكل دخان البخور خطراً صحياً على الأشخاص بسبب استنشاق هذه الجسيمات (Jetter et al., 2002).

وجدت دراسة أن حوالي نصف مليون شخص ماتوا بسبب أمراض تعزى إلى مصادر داخلية للجسيمات، على الرغم من أن تركيزات الجسيمات الخارجية تقع ضمن الحدود الموصى بها من منظمة الصحة العالمية (Li et al., 2023b). قام See and Balasubramanian (2011) بالتحقيق في ستة أنواع من البخور وأفادت النتائج بأن عوامل انبعاث PM2.5 كانت منخفضة تصل إلى 0.4 ملغم لكل جرام من البخور الذي وصف بأنه عديم أو قليل الدخان، بينما تصل إلى 44.5 ملغم لكل جرام بالنسبة للعلامات التجارية التي تطلق الدخان. في دراسة أجراها et al Fang (2003) تم قياس تراكيز الجسيمات العالقة المحيطة في معبد Tzu Yun Yen وتحليل تراكيز العناصر المعدنية المكونة لـ PM2.5 و PM10 المنبعثة من حرق البخور في المعبد. وتراوحت نسب PM2.5/PM10 بين 31% و 87% أثناء فترة احتراق البخور على التوالي. وبذلك فإن الجسيمات الدقيقة (PM2.5) تمثل الجزء الأكبر من الجسيمات العالقة مقارنة بـ PM10. أما التراكيز الأعلى للعناصر المعدنية المكونة للجسيمات العالقة PM2.5/PM10 فهي Fe، Zn، Cr على التوالي. درس Wu et al (2015) انبعاث PM2.5 و PM10 من حرق البخور والشموع خلال ذروة الموسم السياحي في جبل ووتاي البوذية، مقاطعة شانشي، الصين. وأظهرت النتائج أن تركيز PM10 كان أعلى بما يزيد عن 1.01-1.14 مرة من العتبة (50 ميكروجرام/م³)، أما تركيز PM2.5 فكان أعلى بمقدار 1.75-2.70 مرة من (25 ميكروجرام/م³) التي حددتها إرشادات جودة الهواء لمنظمة الصحة العالمية (2005). ونظراً لكثرة استخدام البخور كموروث تراثي لغرض تعطير المنازل وفي المناسبات بشكل متكرر ويومي وما قد تحمله هذه الممارسات من خطر على الصحة الناتج من تلوث الهواء. تهدف هذه الدراسة الي تقدير تركيز الجسيمات العالقة (PM2.5, PM10) الناتجة عن حرق أنواع من البخور المحلي كملوث للهواء الداخلي للمنازل.

المواد وطرق العمل: منطقة الدراسة:

أجريت الدراسة في الفترة بين 2023\5 الى 2024\2 بمدينة الرقيبة بمنطقة أوباري على 8 أنواع من البخور والفحم المستعمل في الدراسة هو المتوفر على النطاق المحلي بالمنطقة وهو فحم مصنع من شجر الزيتون. البخور المستخدم في الدراسة يستعمل على نطاق واسع في المنزل الليبي في جميع المناطق. أجريت جميع قياسات هذه الدراسة في غرفة واحدة معزولة للحد من التداخل مع المصادر الخارجية للجسيمات المعلقة، وجعل حرق البخور هو المصدر الوحيد للجسيمات المعلقة، حيث قيست الجسيمات في كل مرة قبل عملية حرق البخور.

المواد:

أستخدم في هذه الدراسة 8 أنواع من البخور سواء كانت من مصادر طبيعية أو تصنيع محلي بإضافة بعض المواد العطرية التي تعمل على تحسين واختلاف رائحة البخور. وأنواع البخور التي تم قياس الجسيمات الدقيقة أثناء حرقها شملت (الصور 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8):

1. **بخور العود:** وهو خشب عطري داكن اللون ورائحة يستخدم في البخور. يتكون في قلب خشب أشجار الأوكيلاريا بعد إصابتها بنوع من العفن *Phaeoacremonium*، *P. parasitica*. مع تقدم العدوى وإنتاج الشجرة لرائحة العطري كنوع من الدفاع ضد العفن، يصبح قلب الخشب كثيفاً جداً وداكن اللون ومشبعاً بالراتنج. يتم حصاد هذا المنتج، ويشار إليه في مستحضرات التجميل والعطور باسم العود (الصورة 1).



الصورة رقم (1): بخور العود

2. **الشيح:** (الاسم العلمي: *Artemisia*) جنس نباتات عشبية برية مُعَمَّرَة، من الفصيلة النجمية وتتميز بأوراقها المركبة وأزهارها ذات الرؤوس الصفراء، لها العديد من الأنواع ومنتشرة في جميع العالم. تستخدم في العديد من الأغراض الطبية مثل طرد البلغم، وتُخرج الديدان، وتُذهب الفواق والمغص لإحتوائه على المادة الفعالة مادة السانتونين. لأوراقه رائحة عطرية قوية وطيبة تستخدم كبخور حيث يحرق في المنازل لتطهيرها من الروائح الكريهة ولطرده الحشرات، والتعابين (الصورة 2).



الصورة رقم (2): بخور الشيخ

3. بخور الجراريم: هذا النوع من البخور ينتج محليا، حيث يتكون من (المستكة، الجاوي، العود، وبعض العطور) (الصورة 3).



الصورة رقم (3): بخور الجراريم

4. بخور العود المعطر: وهو بخور صناعة محلية وتتمثل مكوناته من (عطر الورد، خشب العود، قطع من العنبر، سكر، ماء)، حيث يستعمل في تعطير الملابس والمنازل وفي حفلات الزفاف. (الصورة 4) يبين بخور العود المعطر.



الصورة رقم (4): بخور العود المعطر

5. بخور الأطفال: وهو مصنع صناعه محلية وهو مزيج من أنواع من الأعشاب منها (الكزبرة، فيسوخ، لبان، الحلتيت، شايح) ويستعمل في بعض المناطق لتبخير ملابس الأطفال كجزء من العادات والتقاليد (الصورة 5) يبين بخور الأطفال.



الصورة رقم (5): بخور الأطفال

6. **بخور الوشق:** وهو يتسخرج من نبات الوشق ذو الاسم العلمي (*Dorema Ammoniacum*) هو نبات شجري معمر، له أزهار صفراء وأوراق بيضاوية. يستخرج الوشق من شجرة اللبان ، وهو الصمغ الذي يخرج عند جرح شجرة اللبان. الأمونياك ammoniacum أو صمغ الأمونياك هو صمغ راتنجي يفرز من العديد من الأعشاب المعمرة في جنس الفيرولا من عائلة الخيميات (*Apiaceae*). هناك ثلاثة أنواع من الأمونياك: صمغ الأمونياك من برقة، وصمغ الأمونياك من بلاد فارس (وهو النوع التجاري والأكثر إنتشار حول العالم حاليا)، وصمغ الأمونياك من المغرب (الصورة 6).



الصورة رقم (6): بخور الوشق

7. **بخور الفاسوخ:** هي عبارة عن راتنجيات عطرية، تستخرج من أشجار برية وهي أشجار البرسوبيس (الاسم العلمي: *Prosopis cineraria*) التي تنمو في الشرق الأوسط وإيران والمغرب العربي، ويوجد منه نوعان فاسوخ أبيض وفاسوخ أسود. تتضمن عشبة الفاسوخ مكونات مثل صمغ الطيار وراتنج الشجر والفلافونيات والصابونين. ويتم استخدام الأجزاء الهوائية من هذه العشبة بشكل رئيسي، بالإضافة إلى الصمغ المستخرج من ساقها (الصورة 7).



الصورة رقم (7): بخور الفيسوخ

8. **بخور الجاوي: (الراتنج الجاوي Benzoin resin)** هو بلسم راتنجي يستخرج من خدش لحاء أنواع عديدة من الأشجار من جنس الإصطرك من الصمغيات فيخرج منها سائل يتجمد بعد خروجه من الجذع ويجمع على هيئة كتل. يحتوي الجاوي على حمض البنزويك، ويستخدم في العطور وبعض أنواع البخور. يوجد نوعان من الجاوي الأول يعرف باسم جاوي سومطرة ويستحصل عليه من نبات *stryax benzoin* والنوع الآخر جاوي سيام ويحصل عليه من نبات *Styrax tonkinensi* . (الصورة 8)



الصورة رقم (8): بخور الجاوي

طريقة العمل:

في هذه الدراسة تم استخدام الفحم المصنع محليا من شجرة الزيتون وزن 6 جرام، وأجريت الدراسة في حجرة حجم 84 متر مكعب، وكان وزن العينة المستخدم في الدراسة 3 جرام. تم أخذ القياسات خلال الفترات الزمنية 10، 30، 60 دقيقة بعد حرق عينة البخور على الفحم، باستخدام جهاز Handheld Air Tester APEXCJ651 لتقدير تركيز الجسيمات الدقيقة PM2.5 و الجسيمات الخشنة PM10 بوحدة ميكرومتر لكل متر مكعب (PM $\mu\text{m}/\text{m}^3$).

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS حيث تم اختبار معامل الارتباط لبيرسون (Pearson Correlation Coefficient)، وهو اختبار إحصائي يُستخدم لمعرفة العلاقة بين متغيرين وهما الزمن وتركيز الجسيمات. فالقيم لهذا الاختبار تتراوح بين +1 و-1. تشير النتيجة +1 الى ان العلاقة طردية قوية أما -1 = علاقة عكسية قوية بينما 0 = لا توجد علاقة خطية واضحة.

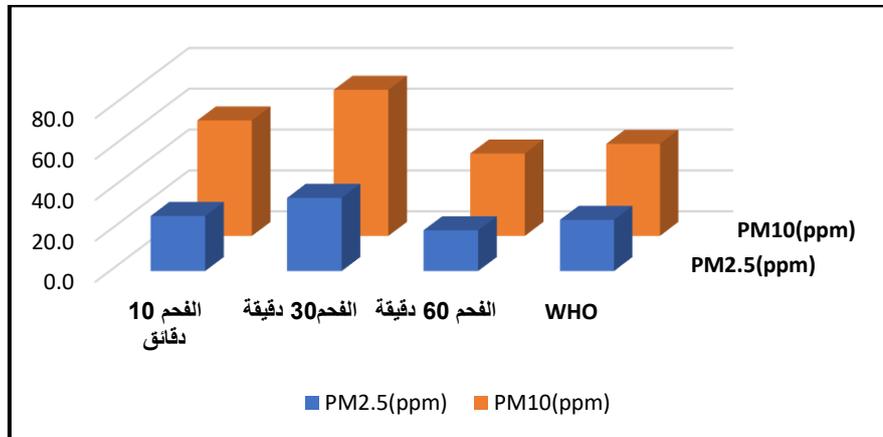
النتائج والمناقشة:

1. تركيز الجسيمات المعلقة في الغرفة: تم قياس الجسيمات المعلقة في كل مرة قيل عملية حرق البخور باستخدام جهاز قياس جودة باستخدام جهاز قياس جودة، وفي كل المرات كانت مستويات PM10، PM2.5 ضمن الحدود التي وضعتها منظمة الصحة العالمية، (PM2.5 (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ، (PM10 (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) لمتوسط 24 ساعة. الجدول (1) يوضح تراكيز الجسيمات المعلقة PM10، PM2.5 ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية في غرفة التجربة في كل أيام القياسات قبل عملية حرق أنواع البخور قيد الدراسة. حيث تراوحت تراكيز PM2.5 بين 3-7 ميكروجرام/م³ لجميع القياسات. ولقد وضح Sanchez-Soberon et al (2015) أن تراكيز PM2.5 الداخلية تتأثر بشدة بالأنشطة البشرية الداخلية، حيث تبلغ 7.3 ميكروجرام/م³ مع عدم وجود مصادر انبعاث.

الجدول رقم (1): تراكيز الجسيمات المعلقة PM10، PM2.5 ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية في غرفة التجربة قبل عملية حرق البخور.

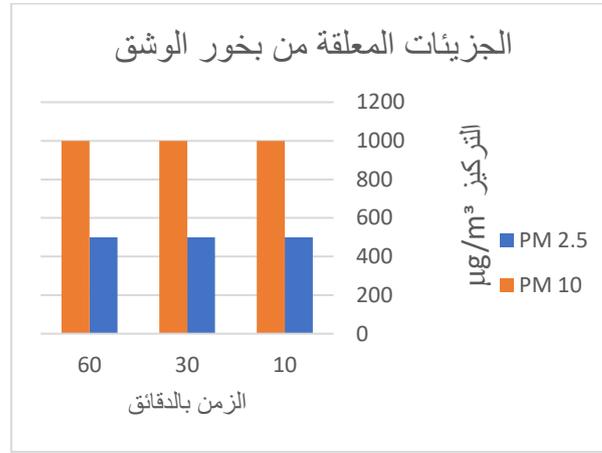
الرطوبة النسبية	درجة الحرارة	PM10	PM2.5
%48	°C24	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 13	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ 6
%59	12°C	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
%54	13°C	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
%63	18°C	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
%58	14°C	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
%48	°C24	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
%48	°C24	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2. تركيز الجسيمات المعلقة الناتجة عن إحتراق الفحم (فحم الزيتون): هنالك العديد من أنواع الفحم التي تستخدم لكثير من الأغراض، بالنسبة لهذه الدراسة تم استخدام الفحم المستخرج من أغصان شجرة الزيتون وهو الأكثر استخداما والأجود في حرق البخور في السوق المحلي. تم معاملة حرق الفحم بنفس الفترات التي سيتم تطبيقها على حرق مكونات البخور من خلال النتائج المتحصل عليها خلال عملية الحرق في القياس في الفترات الزمنية 10، 30، 60 دقيقة حيث سجلت نتائج القياس الارتفاع الواضح عن المستوى الطبيعي بدون استخدام الفحم للجسيمات الدقيقة والخشنة على حد سواء، في الفترة الزمنية 10 دقائق، وازداد الارتفاع عند الفترة الزمنية 30 ليصل الى 35.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ للجسيمات الدقيقة و 71.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ للجسيمات الخشنة، و التراكيز بدأت بالانخفاض عند الفترة الزمنية 60 دقيقة و الشكل 1 يبين وجه المقارنة لتراكيز الجسيمات المعلقة الناتجة عن الفحم مع التراكيز الموصي بها من منظمة الصحة العالمية.

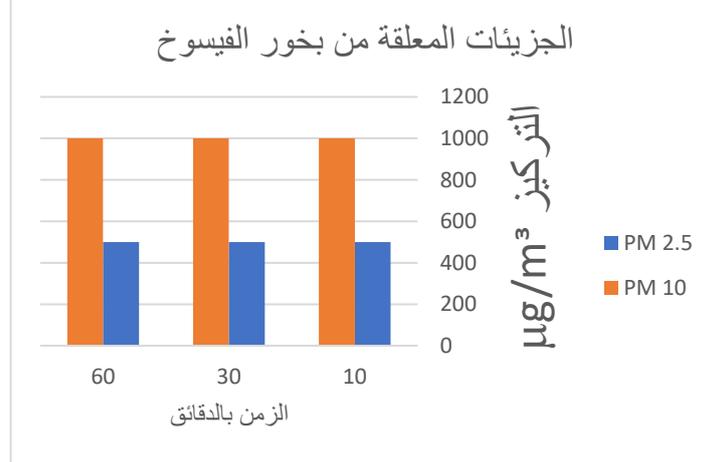


الشكل رقم (1): تركيز الجسيمات الدقيقة والخشنة لفحم شجرة الزيتون في أزمنة مختلفة ومقارنة مع معدل تركيز الجسيمات المصرح به من منظمة الصحة العالمية.

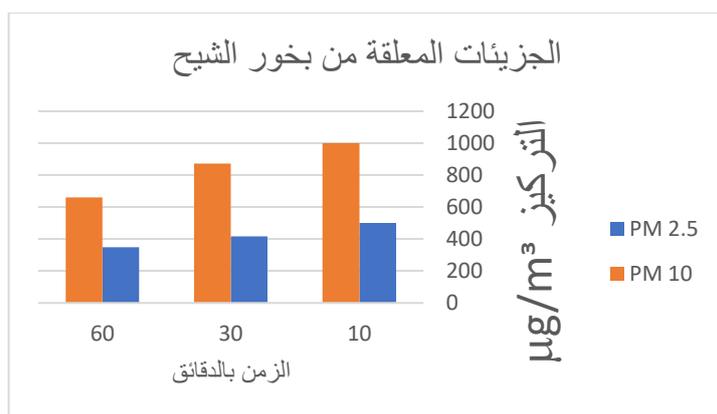
3. تركيز الجسيمات المعلقة الناتجة عن إحتراق البخور باستخدام الفحم: أظهرت نتائج القياسات أن كل من أنواع البخور (الوشق، الفيسوخ، الجراريم والشيخ) ينتج عنها تراكيز عالية جدا من الجزيئات المعلقة 2.5 و 10 مقارنة بالأنواع الأخرى المختبرة في هذه الدراسة، حيث بلغت تراكيز كل هذه الأنواع الأربعة $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ و $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ على التوالي خلال فترات القياس الثلاثة بعد مرور 10، 30 و 60 دقيقة من بدء عملية حرق البخور. إلا أن تركيز بخور الشيخ والجراريم بدء في الإنخفاض عند 30 دقيقة إلى أن وصل عند 60 دقيقة إلى تركيز $348\mu\text{g}/\text{m}^3$ لـ $\text{PM}_{2.5}$ و $661\mu\text{g}/\text{m}^3$ لـ PM_{10} لبخور الشيخ، أشار Sanchez-Soberon et al (2015) إلى أن أعواد البخور (Incense sticks) ينتج عنها $326\mu\text{g}/\text{m}^3$ من الـ $\text{PM}_{2.5}$. أما بخور الجراريم فلقد إنخفضت تراكيز الجزيئات إلى $307\mu\text{g}/\text{m}^3$ لـ $\text{PM}_{2.5}$ و $614\mu\text{g}/\text{m}^3$ لـ PM_{10} عند 60 دقيقة، وهذا ما يبين أن هذه الأنواع تستمر معلقة في جو الغرفة لفترات طويلة وبالتالي تؤدي لزيادة تعرض الأفراد لها، مما يزيد قابلية إستنشاق هذه الجزيئات وزيادة احتمال ضررها على الصحة (الشكل 2 و3 و4 و5). وهذا يتفق مع دراسات أجريت على مصادر أخرى لإنبعاث الجسيمات المعلقة الداخلية إذ يمكن أن يؤدي تدخين التبغ إلى رفع تركيزات $\text{PM}_{2.5}$ المحلية مؤقتًا حتى 1000 ميكروجرام/م³ (Das et al., 2013). بلغت تراكيز PM_{10} من دخان البخور في معابد كانببور $2184\mu\text{g}/\text{m}^3$ وترتفع هذه التراكيز إلى $2336\mu\text{g}/\text{m}^3$ حيث يرجع السبب في هذه الزيادة إلى إختلاف مواسم العبادة وسوء التهوية (Yadav et al., 2022).



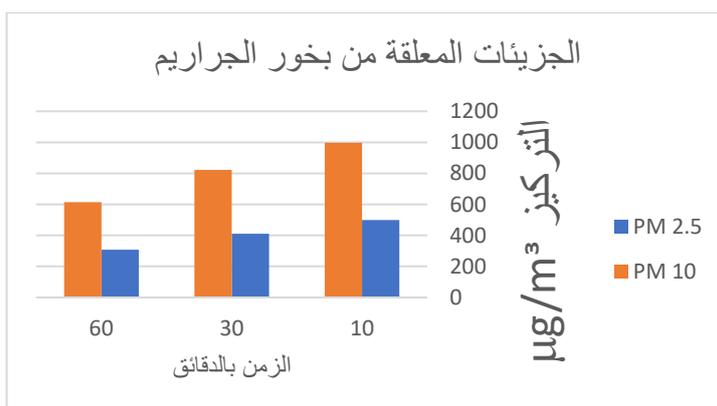
الشكل رقم (2): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور الوشق عند 10، 30، 60 دقيقة من الحرق



الشكل رقم (3): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور الفيسوخ عند 10، 30، 60 دقيقة من الحرق

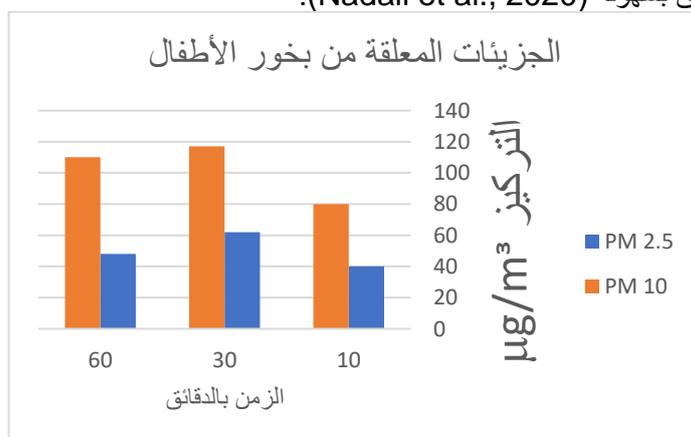


الشكل رقم (4): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور الشيح عند 60، 30، 10 دقيقة من الحرق

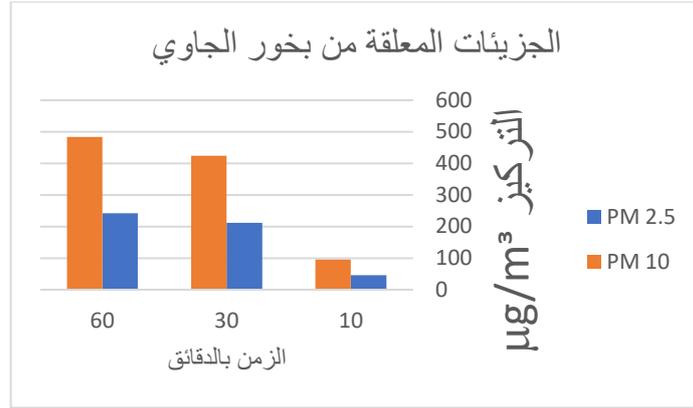


الشكل رقم (5): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور الجراريم عند 60، 30، 10 دقيقة من الحرق

بينت القياسات أن تركيز الجسيمات الناتج عن حرق (بخور الأطفال) عند 10 دقائق ($PM_{2.5}=40\mu g/m^3$) و ($PM_{10}=80\mu g/m^3$) ولكن لوحظ ارتفاع في PM_{10} عند 30 دقيقة حيث بلغ التركيز $117\mu g/m^3$ وكان الإنخفاض بسيط جدا في التركيز بعد مرور 60 دقيقة من الحرق فبلغ حوالي $110\mu g/m^3$ (الشكل 6). أما بالنسبة لبخور الجاوي لوحظ أن تراكيز 2.5 و PM_{10} استمرت بالإزدياد من 10 وحتى 60 دقيقة حيث تزايدت من 46 إلى $242\mu g/m^3$ على التوالي ل $PM_{2.5}$ ومن 96 إلى $484\mu g/m^3$ على التوالي ل PM_{10} (الشكل 7). أوضحت العديد من الدراسات أن النشاط والحركة البسيطة لها تأثير كبير على زيادة مستويات الجسيمات المعلقة ذات القطر $< 5\mu m$ إذ يمكن زيادة تركيز هذه الجسيمات بمجرد الدخول إلى الغرفة والخروج منها بنسبة 100٪ تقريبا، إلا أن الجسيمات التي قطرها $> 5\mu m$ غير قابلة لإعادة التعلق بسهولة (Nadali et al., 2020).

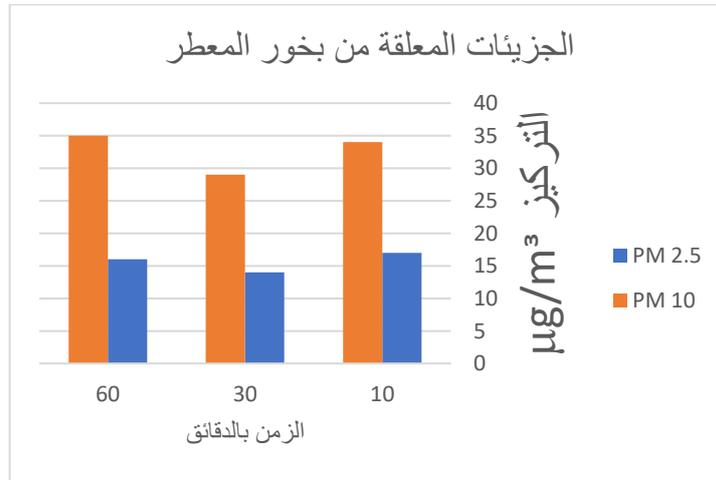


الشكل رقم (6): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور الأطفال عند 60، 30، 10 دقيقة من الحرق

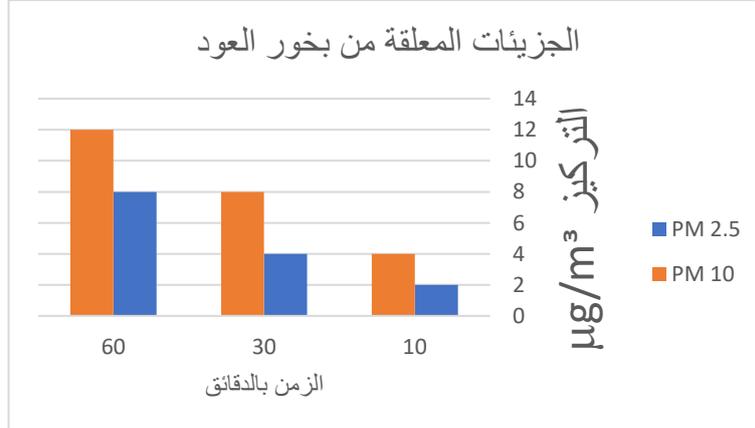


الشكل رقم (7): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور الجاوي عند 60، 30، 10 دقيقة من الحرق

أما بالنسبة لكل من بخور (المعطر والعود) فلقد لوحظ أنهما الأقل في إنبعاثات الجسيمات المعلقة وكان العود هو الأقل بين جميع الأنواع المدروسة. إذ تراوحت الـ PM10 للبخور المعطر بين 34-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ خلال زمن القياس، أما الـ PM2.5 بلغت 16-17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. بينما بخور العود كانت التراكيز عند 60 دقيقة الأعلى لنوعين الجسيمات المعلقة، حيث كانت لـ PM2.5 ($38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و لـ PM10 ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (الشكل 8 و 9). أوضح Yadav et al (2022) أن معدل إنبعاث الجسيمات العالقة ارتبط عكسياً مع معدل حرق أعواد البخور، بمعنى أنه كلما إزداد الرماد كلما إنخفض إنبعاث الجسيمات العالقة. لذلك تعتبر الأنواع التي تنتج كمية أكبر من الرماد أفضل من ناحية إنتاج كميات أقل من الجسيمات العالقة. علاوة على ذلك، لوحظ أن زيادة المحتوى المعدني (من 0.5% إلى 2%) من الوزن الإجمالي للمادة الخام للبخور تعمل على تقليل مسوى إنبعاث الجسيمات إلى حوالي 40% أثناء الحرق. لاحظ Du et al (2017) إنه أثناء الطهي الصيني في ظروف تهوية جيدة، كانت مستويات الـ PM2.5 تتراوح بين 9.53 – 10.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



الشكل رقم (8): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور العود المعطر عند 60، 30، 10 دقيقة من الحرق



الشكل رقم (9): تركيز الجزيئات المعلقة من بخور العود عند 60، 30، 10 دقيقة من الحرق

من خلال التحليل الإحصائي لمعامل الارتباط بيرسون لتراكيز الجسيمات لأنواع البخور كلا على حدا تبين التالي: إن معامل الارتباط بين الزمن والجسيمات = 0.803 لبخور الوشق حيث لا يوجد تغير في التراكيز بمرور الوقت، أي أن الانبعاثات مستقرة جداً عند حرق هذا النوع من البخور. أما بالنسبة لبخور الفيسوخ لا يوجد ارتباط واضح لأن هذا النوع من البخور يصدر تراكيز مرتفعة جداً وثابتة من الجسيمات الدقيقة والخشنة طوال فترة الاحتراق وهذا يرجح أنه قد يكون الأخطر صحياً. بخور العود والجاوي كانت العلاقة طردية قوية (0.997 و 0.993) و (0.997 و 0.993) على التوالي مما يفسر زيادات الانبعاثات مع الاستمرار في زمن الاحتراق. تبين أنه هنالك علاقة عكسية قوية لأنواع البخور (الجراريم، الشيح والعادي) تراوحت بين -0.918 و -1 وهذا يفسر انخفاض الجسيمات بمرور الوقت، أي أن الدخان يخف تدريجياً. أما بخور العود المعطر والعوديلة فلا يوجد ترابط واضح (علاقة ضعيفة) حيث إن لتراكيز تتذبذب دون نمط محدد.

الخلاصة:

بينت نتائج الدراسة أن الجسيمات العالقة في البيئة الداخلية كانت ضمن الحدود المسموح بها من منظمة الصحة العالمية، وذلك عند خلو الجو من أحد مصادر هذه الجسيمات (حرق البخور). تبين أيضاً أن إحتراق الفحم قبل إستخدام البخور كان السبب في زيادة تركيز PM10 و PM2.5 أعلى من الحدود الموصى بها من WHO، إلا أنها تتخفف تدريجياً عند مرور ساعة من وقت الحرق. يوجد إختلاف ملحوظ بين أنواع البخور من حيث انبعاث الجسيمات المغلقة، إذ أن بعض الأنواع تبعث كميات كبيرة جداً من PM10 و PM2.5 تصل إلى أعلى حد يمكن للجهاز قياسه متمثلة في الأنواع (الوشق، الفيسوخ، الشيح، والجراريم)، مما يشير إلى احتمال تأثيرها الضار على جودة الهواء الداخلي وصحة الأفراد عند الاستخدام المتكرر في أماكن مغلقة. في المقابل، أظهرت أنواع أخرى مثل العود والعود المعطر انبعاثات منخفضة نسبياً، ويمكن اعتبارها بدائل أقل تلويثاً.

توصي الدراسة بضرورة زيادة الوعي البيئي حول مخاطر الاستخدام المفرط للبخور في الأماكن المغلقة، وتشجيع استخدام أنواع طبيعية منخفضة الانبعاث، مع تحسين التهوية أثناء الاحتراق للحد من التعرض للجسيمات الدقيقة. كما توصي بإجراء دراسات مستقبلية تركز على التحليل الكيميائي التفصيلي لمكونات الجسيمات المنبعثة وتأثيرها الصحي طويل الأمد. وكذلك دراسة استخدام نوعيات مختلفة من الفحم والحرق الغير مباشر لتقييم جودة الهواء.

قائمة المراجع:

1. Azam Nadali, Hossein Arfaeinia, Zahra Asadgol & Mohammad Fahiminia (2020) Indoor and outdoor concentration of PM10, PM2.5 and PM1 in residential building and evaluation of negative air ions (NAIs) in indoor PM removal, Environmental Pollutants and Bioavailability, 32:1, 47-55, DOI: 10.1080/26395940.2020.1728198
2. Chen, K. F., Tsai, Y. P., Lai, C. H., Xiang, Y. K., Chuang, K. Y., & Zhu, Z. H. (2021). Human health-risk assessment based on chronic exposure to the carbonyl compounds and metals emitted by burning incense at temples. Environmental science and pollution research international, 28(30), 40640–40652. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10313-1>
3. Cohen, R., Sexton, K. G., & Yeatts, K. (2013). Hazard assessment of United Arab Emirates (UAE) incense smoke. Science of the Total Environment, 458–460, 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.101>
4. Das, P., Chalabi, Z., Jones, B., Milner, J., Shrubsole, C., Davies, M., Hamilton, L., Wilkinson, P., 2013. Multi-objective methods for determining optimal ventilation rates in dwellings. Build. Environ. 66, 72–81.
5. Du, B., Gao, J., Chen, J., Stevanovic, S., Ristovski, Z., Wang, L., Wang, L., 2017. Particle exposure level and potential health risks of domestic Chinese cooking. Build. Environ. 123, 564–574.
6. Fang, G., Chang, C., Chu, C., Wu, Y., Fu, P. P., Chang, S., & Yang, I. (2003). Fine (PM 2.5), coarse (PM 2.5–10), and metallic elements of suspended particulates for incense burning at Tzu Yun Yen temple in central Taiwan. Chemosphere, 51(9), 983–991. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(03\)00124-3](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(03)00124-3)
7. Jetter, J. J., Guo, Z., McBrien, J. A., & Flynn, M. R. (2002). Characterization of emissions from burning incense. Science of the Total Environment, 295(1–3), 51–67. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(02\)00043-8](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(02)00043-8)
8. Kuo, S.-C., Tsai, Ying. I., & Sopajaree, K. (2015). Emission identification and health risk potential of allergy-causing fragrant substances in PM2.5 from incense burning. Building and Environment, 87, 23–33.
9. Li, J., Fan, G., Ou, Y., & Deng, Q. (2023b). Characteristics and control strategies of indoor particles: An updated review. Energy and Buildings, 294, 113232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113232>
10. Mesallam, T. A., Farahat, M., Shoeib, R. M., Alharethy, S., Alshahwan, A., Murry, T., & Almalkia, K. (2015). Acute effects of inhaling Oud incense on voice of Saudi adults. Annals of Saudi Medicine, 35(2), 111–119. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2015.111>
11. Navasumrit, P., Arayasiri, M., Hiang, O.M.T., Leechawengwongs, M., Promvijit, J., Choonvisase, S., Chantchaemsai, S., Nakngam, N., Mahidol, C., Ruchirawat, M., 2008. Potential health effects

- of exposure to carcinogenic compounds in incense smoke in temple workers. *Chem. Biol. Interact.* 173, 19e31.
12. Oliveira, M., Slezáková, K., Delerue–Matos, C., Pereira, M. D. C., & Morais, S. (2019). Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor exposure levels, major sources and health impacts. *Environment International*, 124, 180–204. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.052>
 13. Sanchez-Soberon, F., Mari, M., Kumar, V., Rovira, J., Nadal, M., Schuhmacher, M., 2015. An approach to assess the particulate matter exposure for the population living around a cement plant: modelling indoor air and particle deposition in the respiratory tract. *Environ. Res.* 143, 10–18.
 14. See, S.-W., Balasubramanian, R., 2011. Characterization of fine particle emissions from incense burning. *Build. Environ.* 46, 1074e1080.
 15. Wang, Y., Koutrakis, P., Michanikou, A. et al. Indoor residential and outdoor sources of PM2.5 and PM10 in Nicosia, Cyprus. *Air Qual Atmos Health* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01460-8>
 16. Wu, Zhihui, Fenwu Liu, and Wenhua Fan. 2015. "Characteristics of PM10 and PM2.5 at Mount Wutai Buddhism Scenic Spot, Shanxi, China" *Atmosphere* 6, no. 8: 1195-1210. <https://doi.org/10.3390/atmos6081195>
 17. Yadav, V. K., Malik, P., Tirth, V., Khan, S. H., Yadav, K. K., Islam, S., Choudhary, N., Inwati, G. K., Arabi, A., Kim, D., & Jeon, B. (2022). Health and environmental risks of incense smoke: Mechanistic insights and cumulative evidence. *Journal of Inflammation Research*, Volume 15, 2665–2693. <https://doi.org/10.2147/jir.s347489>