مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية
Bani Waleed University Journal of Humanities and Applied Sciences
تصدر عن– جامعة بني وليد – ليبيا
Website:https://jhas-bwu.com/index.php/bwjhas/index
المؤتمر الجغرافي الأول لقسم الجغرافيا بكلية الآداب بني وليد
المجلد الحادي عشر – العدد الرابع – 2026 عدد خاص الصفحات (17- 29) ISSN 3005-3900

Environmental and Health Impacts of Solid Waste Dump Burning on Hun City in Light of Prevailing Wind Directions

Mahmoud M. Abdalmoula*
Department of Geography, Faculty of Arts, University of Jufra, Hun, Libya
Mahmoud.abdlmoula@ju.edu.ly

الأثر البيئي والصحي لحرق مكبات النفايات الصلبة على مدينة هون في ضوء اتجاهات الرياح السائدة

د. محمود محمد عبد المولى *
قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الجفرة، هون، ليبيا

Received: 17-03-2026	Accepted: 10-04-2025	Published: 01-06-2026

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

الملخص

تهدف الدراسة الحالية إلى تحليل الأثر البيئي والصحي لحرق مكبات النفايات الصلبة على مدينة هون، في إطار الأمن الجغرافي وإدارة المخاطر البيئية، مع التركيز على دور اتجاهات الرياح السائدة في نقل الملوثات الهوائية نحو المناطق السكنية، ويُعد حرق النفايات الصلبة من أبرز مصادر التلوث الهوائي في المدن الليبية، لما ينتج عنه من غازات سامة وجسيمات دقيقة تؤثر سلبًا على جودة الهواء والصحة العامة للسكان. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، من خلال تحديد المواقع المكانية لمكبات النفايات، وتحليل الخصائص المناخية المحلية، وخاصة اتجاهات الرياح، إلى جانب توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإعداد خرائط توضح مسارات انتقال الملوثات ومناطق التأثر داخل النطاق الحضري. كما تم تحليل بعض المؤشرات الصحية، لا سيما الأمراض التنفسية المسجلة بالمرافق الصحية في المدينة، لبيان العلاقة بين التلوث الهوائي والمخاطر الصحية. توصلت الدراسة إلى أن التوافق المكاني بين مواقع المكبات واتجاهات الرياح السائدة يسهم بشكل مباشر في زيادة مستويات التلوث الهوائي نحو التجمعات السكنية، مما يهدد البيئة الحضرية ويرفع من حدة المخاطر الصحية، لا سيما لدى الفئات الأكثر هشاشة. كما كشفت النتائج عن ضعف إجراءات إدارة النفايات الصلبة وغياب الحلول البيئية المستدامة. توصي الدراسة بضرورة إيقاف الحرق العشوائي للنفايات، وتبني استراتيجيات فعالة لإدارة النفايات الصلبة، وإعادة تخطيط مواقع المكبات بما يعزز الأمن الجغرافي ويحد من المخاطر البيئية.

الكلمات المفتاحية: اتجاهات الرياح، إدارة المخاطر البيئية، الأمن الجغرافي، التلوث الهوائي، حرق النفايات الصلبة.

Abstract

This study aims to analyze the environmental and health impact of burning solid waste dumps in the city of Hun, within the framework of geographical security and environmental risk

management, with a focus on the role of prevailing wind directions in transporting airborne pollutants toward residential areas. Burning solid waste is one of the most prominent sources of air pollution in Libyan cities, due to the toxic gases and fine particles it releases, which negatively affect air quality and public health. The study adopted a descriptive-analytical methodology, involving the identification of the spatial locations of waste dumps, analysis of local climatic characteristics—particularly wind directions—and the use of Geographic Information Systems (GIS) to prepare maps illustrating pollutant dispersion paths and affected areas within the urban zone. Additionally, some health indicators were analyzed, especially respiratory diseases recorded in the city's health facilities, to demonstrate the relationship between air pollution and health risks.

The findings indicate that the spatial alignment between dump site locations and prevailing wind directions directly contributes to increased air pollution levels toward residential areas, threatening the urban environment and exacerbating health risks, particularly among vulnerable groups. The results also revealed weaknesses in solid waste management procedures and a lack of sustainable environmental solutions. The study recommends the necessity of stopping the random burning of waste, adopting effective solid waste management strategies, and redesigning dump site locations to enhance geographical security and mitigate environmental risks.

Keywords: Wind directions, environmental risk management, geographical security air pollution, solid waste burning.

مقدمة:

تشكل إدارة النفايات الصلبة أحد أبرز التحديات البيئية والصحية في القرن الحادي والعشرين، خاصة في الدول النامية التي تعاني من ضعف البنية التحتية والتشريعات البيئية.(Kaza et al, 2018) و في ظل التوسع العمراني وزيادة معدلات الاستهلاك في ليبيا تفاقمت هذه المشكلة ونتيجة الأوضاع السياسية والاقتصادية التي مرت بها البلاد في العقد الماضي، مما أدى إلى تدهور خدمات إدارة النفايات وانتشار المكبات العشوائية والحرق المكشوف كأسلوب رئيسي للتخلص من النفايات (Elmahdawy et al, 2017) مما يحول هذه المواقع إلى مصادر خطيرة للتلوث الهوائي. وتبرز مدينة هون، التي تقع في قلب ليبيا ضمن بلدية الجفرة، كحالة دراسية نموذجية لهذه الإشكالية.

يهتم الجغرافيون بدراسة التفاعلات المكانية بين الأنشطة البشرية والبيئة الطبيعية. وفي هذا السياق، يلعب فهم اتجاهات الرياح السائدة دورًا محوريًا في تقييم المخاطر البيئية للمواقع غير الملائمة للمكبات. فحرق النفايات يطلق خليطًا معقدًا من الغازات السامة مثل (أول أكسيد الكربون، والميثان، وأكاسيد الكبريت والنيتروجين) والجسيمات الدقيقة (PM10, PM2.5) التي تنتقل بفعل الرياح لتترسب في المناطق السكنية المجاورة، مسببة أضرارًا جسيمة على صحة السكان والبيئة المحلية، مما يستدعي دراسة علمية لتقييم مدى هذا الأثر ووضع حلول تستند إلى المعطيات المكانية والمناخية.

مشكلة البحث:

تتمثل المشكلة في أن مدينة هون تعاني من تزايد مستمر في كميات النفايات المنزلية والصلبة، ويتم التخلص منها بشكل غير آمن عبر الحرق العشوائي في مكب مكشوف والأخطر من ذلك هو وقوع هذا المكب في اتجاه الرياح السائدة التي تهب نحو المدينة، مما يحول مدينة هون إلى مستقبل دائم لعمود الدخان والغازات السامة المنبعثة وهذا يشكل خطرًا مباشرًا على الصحة العامة والبيئة، ويعكس فشلًا في التخطيط الحضري وإدارة المخاطر البيئية.

أهداف البحث:

الهدف العام :

- تحليل وتقييم الأثر البيئي والصحي المتكامل لحرق النفايات الصلبة في مدينة هون، مع التركيز على الدور الحاسم لاتجاهات الرياح السائدة في تحديد نطاق وشدّة هذا الأثر.

الأهداف الخاصة :

- تحديد الموقع المكاني الدقيق لمكب النفايات الرئيسي بمدينة هون وعلاقته بالتجمعات السكنية.
- تحليل خصائص الرياح السائدة (الاتجاه والسرعة) في مدينة هون، وتحديد الاتجاهات التي تنقل الملوثات من المكب إلى المدينة.

أهمية البحث:

الأهمية الأكاديمية:

- إثراء المكتبة العربية والأكاديمية الليبية بدراسة تطبيقية تجمع بين الجغرافيا البيئية، وعلم المناخ التطبيقي، والصحة العامة، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) .

الأهمية التطبيقية:

- تقدم الدراسة أدلة علمية وحلولاً عملية لصناع القرار في بلدية الجفرة، تسهم في تحسين إدارة النفايات، والتخطيط للمكبات المستقبلية، والحد من المخاطر البيئية والصحية، مما يعزز الأمن الجغرافي لمدينة هون.

تساؤلات البحث:

1. هل الموقع والاتجاه المكاني لمكب النفايات يتناسب مع اتجاهات الرياح السائدة بالنسبة للمناطق السكنية في مدينة هون؟
2. ما هو تأثير نطاق موقع المكب مع اتجاهات الرياح على مستويات التلوث الهوائي في المدينة؟
3. ما مدى تأثر السكان المحيطين بالمكب بيئيًا وصحيًا؟
4. ما هي الحلول والإجراءات المقترحة للتخفيف من الأثر البيئي والصحي لحرق النفايات في ضوء نتائج التحليل الجغرافي والمناخي؟

منطقة الدراسة وبياناتها:

الموقع الجغرافي:

تقع مدينة هون في وسط ليبيا، وهي إحدى واحات بلدية الجفرة. بين (خط طول 15° 56′ 25″ شرقًا، ودائرة عرض 29° 07′ 16″ شمالاً) (الهمالي، 2007)، كما في الشكل (1)، ويبلغ عدد سكانها حوالي 30,715 ألف نسمة لسنة 2025م (السجل المدني، هون. 2025)، وترتفع نحو 259 مترًا عن سطح البحر.

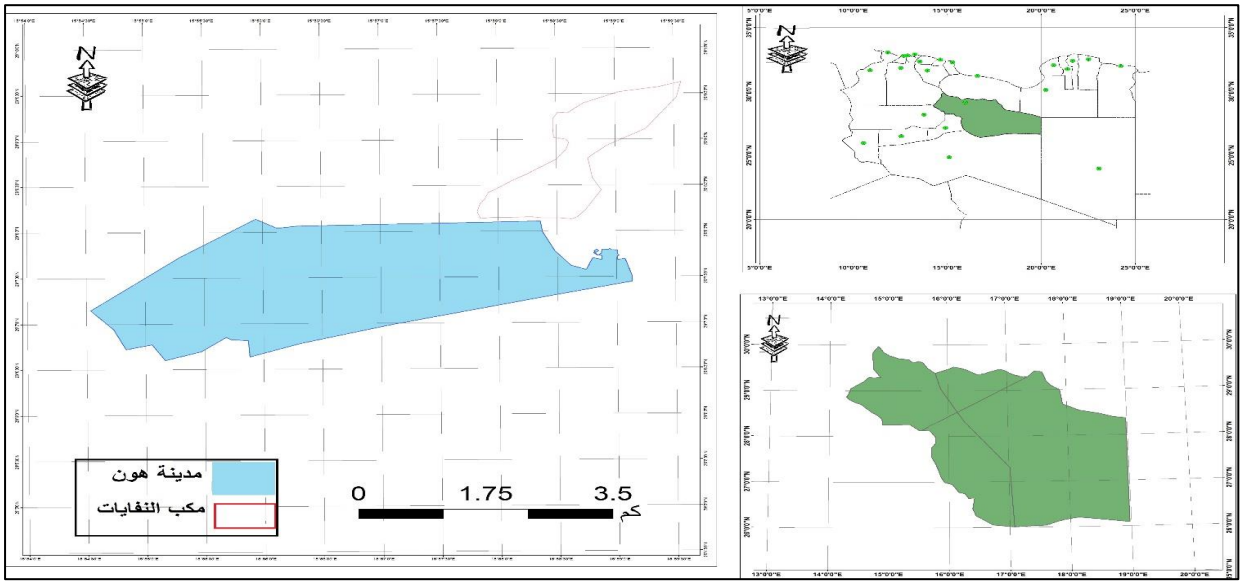
خصائص المناخ:

يضم المناخ مجموعة عناصر لكل منها أثر متباين على الأرض وعلى الإنسان وأنشطته الاقتصادية والاجتماعية . يتضح من خلال الدراسة أن هناك اشهراً حارة، اشهراً باردة تقع بينها أشهر معتدلة الحرارة، حيث تؤثر درجة الحرارة على النفايات المنزلية من خلال اختلاف أنماط الاستهلاك والكميات والنوعية وتحللها (اكريم، 2024).

كما يسود مدينة هون مناخ صحراوي قاري، يتميز بصيف طويل حار وجاف (درجات حرارة قد تصل إلى 40°م)، وشتاء بارد مع أمطار نادرة جدًا. هذا المناخ الجاف يزيد من سرعة تحلل النفايات وانبعاث الروائح، ويجعل الغلاف الجوي أكثر استقرارًا، مما يحد من تشتت الملوثات أحيانًا ويزيد من تركيزها.

بيانات الرياح

ووفقًا لبيانات وردة الرياح (مأخوذة من نموذج ERA5T) لموقع هون، فإن الرياح السائدة تهب من الاتجاهات الشمالية (N) والشمالية الشرقية (NNE) والشمالية الغربية .(NNW) تتراوح سرعات الرياح في الغالب بين (5-20 كم/ساعة)، مع وجود رياح أقوى أحيانًا تزيد عن 30 كم/ساعة. هذا يعني أن الرياح تحمل الملوثات بشكل أساسي من الشمال إلى الجنوب، أو من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي.

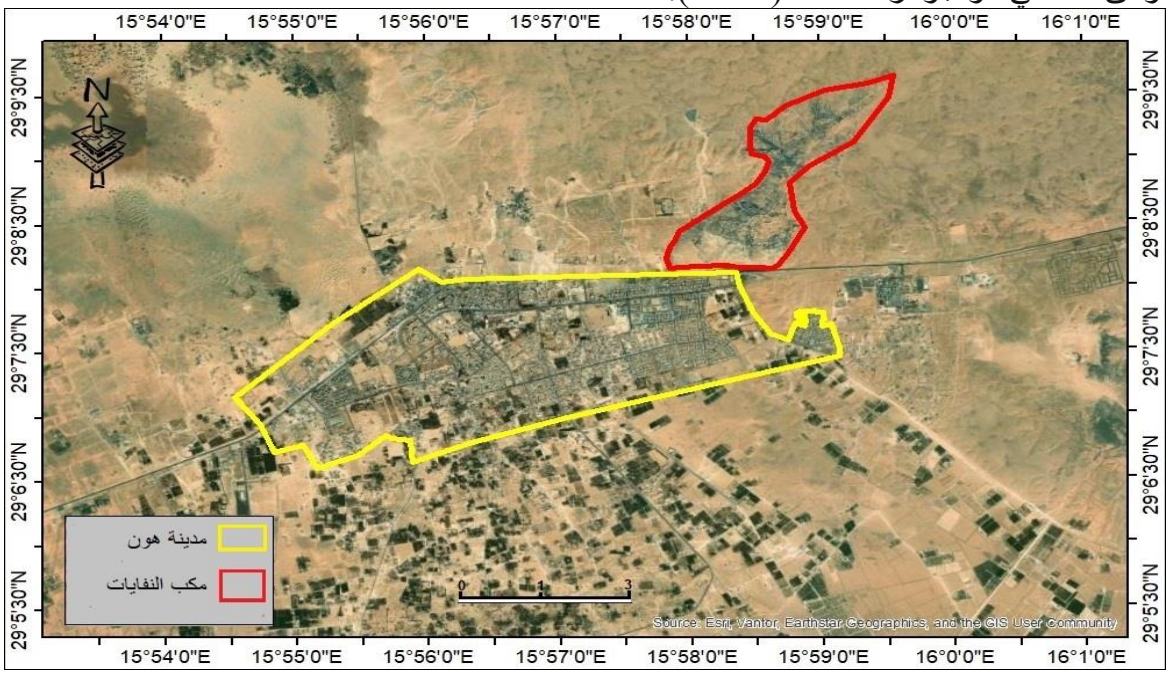


الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.

المصدر من عمل الباحث باستخدام GIs arc map 10,8,1 بالاعتماد على الأطلس الوطني لليبيا 1978 ومكتب التخطيط العمراني الجفرة.

موقع مكب النفايات:

النفايات مادة أو شيء يطرحه أو ينبذه منتجه أو مالكه، فالنفايات أشياء نبذت وطرحت؛ لأن صاحبها لا يريدها ولا يمكنه استعمالها (الخطيب، 2000) وبتحليل الصورة الفضائية (مكب النفايات)، يتبين أن مكب النفايات الرئيسي يقع **شمال** مدينة هون، ولا يفصله عن مخطط المدينة إلا مسافة أمتار معدودة جانب الطريق الساحلي وتقدر مساحة المكب بـ 280هكتار(2800 كلم^2)، وبالتالي فإن الرياح السائدة (الشمالية والشمالية الغربية) تنقل الملوثات المنبعثة من المكب مباشرة **نحو وداخل** النسيج الحضري للمدينة الواقع جنوب المكب. هذا التوافق المكاني هو جوهر المشكلة (شكل 2).



شكل (2) موقع المكب لمخطط المدينة.

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على مرئية فضائية من Google Earth Pro، لمكب النفايات بمدينة هون، باستخدام برنامج Arc Map 10.8.

منهجية الدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وتضمنت المنهجية:

تحليل البيانات المكانية :استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد إحداثيات الموقع النسبي للمكب والمدينة، وإنتاج خريطة توضح علاقتهما باتجاه الرياح.

تحليل البيانات المناخية :استخدام وردة الرياح وسرعتها (من الأشكال المرفقة) لتحديد اتجاهات نقل الملوثات.

تحليل البيانات البيئية والصحية :الاعتماد على نتائج دراسة اكريم (2024) حول واقع النفايات (كميات، طرق التخلص، آثار صحية مبلغ عنها مثل تكاثر الحشرات والروائح)، وربطها بتحليل اتجاهات الرياح.

المفاهيم المحورية للدراسة:

الأمن البيئي والجغرافي :تطور مفهوم الأمن ليتجاوز الأبعاد العسكرية التقليدية ليشمل الأبعاد البيئية. يُعرّف الأمن البيئي بأنه حالة تكون فيها البيئة الطبيعية قادرة على دعم حياة صحية وآمنة للمجتمع، وحماية الموارد الحيوية من التدهور .(Matthew, 2014) في سياق هذه الدراسة، يشير **الأمن الجغرافي** إلى ترتيب واستخدام الفضاء الجغرافي (مثل تخطيط مواقع المكبات) بطريقة لا تشكل تهديداً للسكان أو البيئة، مع الأخذ في الاعتبار العوامل الطبيعية مثل الرياح (Brauch, 2005).

إدارة المخاطر البيئية :هي عملية منهجية لتحديد المخاطر البيئية المحتملة، وتقييم احتمال حدوثها وشدتها، واتخاذ الإجراءات المناسبة للتحكم فيها أو التخفيف من آثارها .(Harrop & Pollard, 2020) تمر هذه العملية بمراحل: تحديد الخطر، تقييم الخطر، تقييم الاستجابة، وإدارة القرار.

تلوث الهواء من حرق النفايات :ينتج عن الاحتراق غير الكامل للنفايات، خاصة في درجات الحرارة المنخفضة كما في الحرق المكشوف، مئات المركبات الكيميائية الخطرة أهم المجموعات هي:

- **الجسيمات الدقيقة :(PM)** خاصة PM2.5 (قطر ≤ 2.5 ميكرومتر) التي تخترق الحويصلات الهوائية في الرئتين وتدخل مجرى الدم، مسببة التهابات وتلفاً خلويًا (WHO, 2021) .
- **المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (PAHs):**العديد منها مسرطن (مثل البنزوبايرين) (Ravindra et al., 2008).
- **الديوكسينات والفيورانات :(PCDD/Fs)** مركبات شديدة السمية والثبات، تتراكم في السلسلة الغذائية وتسبب اضطرابات مناعية وهرمونية وسرطانات (Giusti, 2009).
- **غازات سامة :**مثل أول أكسيد الكربون(CO) ، وثاني أكسيد الكبريت(SO_2) ، وأكاسيد النيتروجين (NO_x).

دور العوامل المناخية في انتشار التلوث :تُعد الرياح العامل الأهم في النقل الأفقي للملوثات. تحدد سرعة الرياح معدل التخفي(Dilution) ، بينما يحدد اتجاه الرياح المسار الجغرافي للانتشار. في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية مثل هون، تكون أنماط الرياح غالباً موسمية وقد تؤدي إلى نقل الملوثات لمسافات بعيدة .(Arya, 1999) تلعب العوامل الأخرى مثل الاستقرار الجوي ودرجة الحرارة دوراً في الانتشار الرأسي.

الآثار البيئية والصحية الناتجة عن النفايات الصلبة:

تمثل النفايات الصلبة أحد أبرز التحديات البيئية والصحية التي تواجه العالم المعاصر، خاصة في ظل التزايد المضطرد في كمياتها عالمياً. فوفقاً للإحصائيات الحديثة، يتم توليد أكثر من 2 مليار طن من النفايات الصلبة البلدية سنوياً على مستوى العالم، ومن المتوقع أن يصل هذا الرقم إلى حوالي 3.5 مليار طن بحلول عام 2050 (Sharma, R., et al. 2024) .وتتفاقم المشكلة بشكل خاص في البلدان النامية والمنخفضة الدخل، حيث يتم حرق أو إلقاء حوالي 93% من النفايات في ظل غياب أنظمة إدارة آمنة، مقارنة بـ 2% فقط في الدول ذات الدخل المرتفع (Sharma, R., et al. 2024) .

تتنوع مصادر النفايات الصلبة لتشمل النفايات البلدية المنزلية، والنفايات الصناعية، والنفايات الطبية والخطرة، ونفايات البناء والهدم، والمخلفات الزراعية (Zourou. F., et al, 2025). وعندما لا تتم إدارة هذه النفايات بشكل آمن، سواء من خلال الحرق المكشوف أو الإلقاء العشوائي في مكبات غير مهيأة، فإنها تتحول إلى مصادر خطيرة للتلوث البيئي تؤثر سلباً على جودة الهواء والتربة والمياه، ومن ثم على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى. ويؤكد تقرير حديث لمنظمة الصحة العالمية أن سوء إدارة النفايات الصلبة يؤدي إلى أزمة صحة عامة، ويدعو إلى اتخاذ إجراءات عاجلة لحماية السكان والبيئات التي يعيشون فيها (WHO. 2025).

أولاً: الآثار البيئية للنفايات الصلبة:

تلوث الهواء:

يمثل تلوث الهواء أحد أخطر الآثار البيئية المترتبة على سوء إدارة النفايات الصلبة، وخاصة عند ممارسة الحرق المكشوف. يُعد الحرق المكشوف للنفايات مصدراً رئيسياً لانبعاث مجموعة واسعة من الملوثات الهوائية الضارة، بما في ذلك الجسيمات الدقيقة PM2.5) وPM10) ، وأول أكسيد الكربون(CO) ، وثاني أكسيد الكبريت(SO_2) ، وأكاسيد النيتروجين(NO_x) ، والمركبات العضوية المتطايرة(VOCs) ، والديوكسينات والفيورانات(PCDD/Fs) ، والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات.(PAHs))، (Estrellan, C. R., & Iino, F. 2010).

تختلف الانبعاثات حسب نوع المواد المحروقة؛ فحرق البلاستيك ينتج الديوكسينات والفيورانات، وحرق المواد العضوية ينتج الميثان (CH_4) الذي يسهم في الاحتباس الحراري، بينما ينتج حرق الإطارات والمطاط كميات كبيرة من الجسيمات الدقيقة والمركبات الكبريتية. وقد أشارت الدراسات إلى أن الانبعاثات الصادرة عن حرق النفايات المكشوف تسهم بشكل كبير في تدهور جودة الهواء المحيط، خاصة في المناطق الحضرية والمناطق المحيطة بالمكبات (Gautam. A, 2024).

إضافة إلى ذلك، تساهم مكبات النفايات غير المهيأة في انبعاث الغازات الدفيئة، حيث ينتج تحلل النفايات العضوية لاهوائياً غاز الميثان الذي تزيد قدرته على الاحتباس الحراري بحوالي 25 مرة مقارنة بثاني أكسيد الكربون. كما تنبعث من هذه المكبات غازات أخرى مثل كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والأمونيا (NH_3) التي تسبب روائح كريهة وتؤثر سلباً على جودة الحياة في المناطق المجاورة (Sharma, R., et al. 2024).

تلوث التربة:

تتسبب المكبات العشوائية والمكبات غير المهيأة في تلوث التربة بشكل خطير، وذلك من خلال تسرب العصارة (Leachate) الناتجة عن تحلل النفايات. تحتوي هذه العصارة على تركيزات عالية من المعادن الثقيلة مثل الرصاص(Pb) ، والزئبق(Hg) ، والكادميوم(Cd) ، والكروم(Cr) ، والنحاس(Cu) ، والزنك (Zn)، بالإضافة إلى المركبات العضوية السامة والمواد الكيميائية المتنوعة (Zourou. F., et al, 2025).

تؤدي هذه الملوثات إلى تدني خصوبة التربة، وتغيير خواصها الكيميائية والفيزيائية، وتقليل قدرتها على دعم الحياة النباتية. وقد أظهرت دراسة حالة في مدينة بيراتناغار بنيبال أن جودة التربة في مواقع الإلقاء المكشوف قد تدهورت بشكل ملحوظ نتيجة تسرب المواد السامة والضارة. كما تؤدي المعادن الثقيلة إلى تسمم التربة على المدى الطويل بسبب عدم قابليتها للتحلل، مما يشكل خطراً مستمراً على النظم البيئية والزراعة في المناطق المجاورة (Zourou. F., et al, 2025).

تلوث المياه:

يمثل تلوث المياه أحد أخطر الآثار البيئية للنفايات الصلبة، حيث تتسرب العصارة الناتجة عن المكبات إلى المياه الجوفية والسطحية مسببة تلوثاً قد يستمر لعقود. تحتوي عصارة المكبات على تركيزات عالية من المواد العضوية والأمونيا والمعادن الثقيلة والملوثات العضوية الثابتة(POPs) ، مما يؤدي إلى تدني جودة المياه وجعلها غير صالحة للشرب أو الري (Sharma, R., et al. 2024).

تؤكد الدراسات أن جودة المياه في المناطق المحيطة بالمكبات العشوائية تتدهور بشكل كبير، حيث أظهرت دراسة حالة في نيبال أن جودة المياه عند نقطة تسرب العصارة وفي اتجاه مجرى النهر كانت أكثر تدنيًا،

مقارنة بمنبع المكب (Gautam. A, 2024).كما تشير منظمة الصحة العالمية إلى أن النفايات الصلبة غير المجمعة أو الملقاة في مكبات غير مهيأة يمكن أن تلوث مصادر مياه الشرب، مما يخلق أرضاً خصبة لتكاثر الحشرات والقوارض الناقلة للأمراض (WHO. 2025) .

تدهور النظم البيئية وفقدان التنوع البيولوجي:

تؤدي المكبات العشوائية والمقالب المكشوفة إلى تدمير الموائل الطبيعية للكائنات الحية وتدهور النظم البيئية المحيطة. فالمواد السامة والمعادن الثقيلة المتسربة تتراكم في السلسلة الغذائية(Bioaccumulation) ، مما يؤثر على صحة الكائنات الحية بدءاً من الكائنات الدقيقة في التربة وصولاً إلى الحيوانات الكبرى والإنسان (Zourou. F., et al, 2025).كما تسهم الانبعاثات الغازية والمعلقات في تلوث الهواء الذي يؤثر على الغطاء النباتي ويقلل من كفاءة عملية التمثيل الضوئي.

بالإضافة إلى ذلك، تؤدي المكبات إلى تغيير المشهد الطبيعي وتشويه الجمال البيئي، وتقليل القيمة الاقتصادية والبيئية للأراضي المجاورة. كما تسهم في ظاهرة الاحتباس الحراري من خلال انبعاث غازات الدفيئة مثل الميثان وثاني أكسيد الكربون (WHO. 2025).

ثانياً: الآثار الصحية للنفايات الصلبة:

تتعدد الآثار الصحية الناجمة عن سوء إدارة النفايات الصلبة، وتشمل تأثيرات حادة ومزمنة تتفاوت في شدتها حسب مدة التعرض وتركيز الملوثات والفئات العمرية المعرضة.

الأمراض التنفسية:

تعتبر الأمراض التنفسية من أكثر الآثار الصحية شيوعاً وارتباطاً بتلوث الهواء الناتج عن حرق النفايات. فالجسيمات الدقيقة (PM2.5) التي يقل قطرها عن 2.5 ميكرومتر تخترق عمق الحويصلات الهوائية في الرئتين وتدخل إلى مجرى الدم، مسببة التهابات وتلفاً خلويّاً. وتشير منظمة الصحة العالمية إلى أن التعرض لتلوث الهواء (الداخلي والخارجي) (WHO. 2024) يتسبب في حوالي 7 ملايين حالة وفاة مبكرة سنوياً، معظمها بسبب أمراض القلب والجهاز التنفسي (WHO. 2025) .

تتضمن الأمراض التنفسية المرتبطة بحرق النفايات:

- **الالتهاب الشعبي المزمن :(COPD)** تشير التقديرات إلى أن 25% من الوفيات المبكرة الناجمة عن مرض الانسداد الرئوي المزمن في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل تعزى إلى التعرض لتلوث الهواء المنزلي الناتج عن حرق الوقود الصلب، وينطبق نفس المبدأ على حرق النفايات.(WHO. 2024)
- **الربو** :يؤدي استنشاق الجسيمات الدقيقة والملوثات إلى تحفيز نوبات الربو وزيادة شدتها خاصة لدى الأطفال وكبار السن.
- **التهاب الجهاز التنفسي الحاد** :يساهم تلوث الهواء في 28% من وفيات الالتهاب الرئوي لدى البالغين، و45% من وفيات الالتهاب الرئوي لدى الأطفال دون سن الخامسة (WHO. 2025) .
- **سرطان الرئة** :تشير الدراسات إلى وجود علاقة ارتباطية بين التعرض لانبعاثات حرق النفايات وزيادة خطر الإصابة بسرطان الرئة والحنجرة، حيث تراوحت نسب الخطورة (Hazard Ratio) بين 1 - 2.6 في بعض الدراسات الوبائية (Ragazzi, M., et al. 2024).

الأمراض القلبية والوعائية:

تؤثر الملوثات المنبعثة من حرق النفايات على صحة القلب والأوعية الدموية من خلال إحداث التهابات جهازية وتأكسد البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة(LDL) ، مما يساهم في تكوين التصلب العصيدي وزيادة خطر الإصابة بالنوبات القلبية والسكتات الدماغية. وتشير منظمة الصحة العالمية إلى أن 38% من وفيات تلوث الهواء الخارجي تعزى إلى أمراض القلب الإقفارية (IHD) ، و20% إلى السكتة الدماغية .WHO). 2024)

تشير الإحصاءات إلى أن حوالي 11% من جميع الوفيات الناجمة عن أمراض القلب الإقفارية (أكثر من مليون وفاة سنوياً) يمكن أن تعزى إلى التعرض لتلوث الهواء المنزلي الناتج عن حرق الوقود الصلب، وينطبق الوضع نفسه على حرق النفايات (WHO. 2025) .

التأثيرات على الجهاز العصبي والتطور المعرفي:
للمعادن الثقيلة المنبعثة من حرق النفايات (خاصة الرصاص والزئبق) تأثيرات سامة على الجهاز العصبي، خاصة لدى الأطفال الذين لا تزال أجهزتهم العصبية في طور النمو. يؤدي التعرض لهذه الملوثات إلى:

- تأخر النمو المعرفي والحركي.
- انخفاض معدل الذكاء(IQ) .
- مشاكل في الانتباه والتركيز والسلوك.
- زيادة خطر الإصابة باضطراب فرط الحركة وتشتت الانتباه (ADHD).

كما تشير الأدلة إلى وجود روابط بين التعرض لتلوث الهواء المنزلي وانخفاض الوزن عند الولادة، والسل، وإعتام عدسة العين، وسرطانات البلعوم الأنفي والحنجرة (WHO. 2025).

التأثيرات الجلدية والحساسية:
يؤدي التلامس المباشر مع النفايات أو استنشاق الملوثات المنبعثة منها إلى ظهور تفاعلات حساسية جلدية متعددة، تشمل:

- تهيج الجلد والطفح الجلدي.
- التهاب الجلد التماسي.
- تفاقم حالات الأكزيما والصدفية.
- حساسية العين والتهابات الملتحمة.

وقد أشارت دراسة اكريم (2024) حول مدينة هون إلى أن 90% من أفراد العينة أفادوا بانتشار الروائح المزعجة والحشرات، وهي أعراض تتفاقم بشكل كبير مع الحرق ونقل الملوثات بالرياح.

التأثيرات الهرمونية والتناسلية:
تمتلك بعض الملوثات المنبعثة من حرق النفايات، خاصة الديوكسينات والفيورانات وبعض المركبات العضوية الثابتة، قدرة على تعطيل عمل الجهاز الغدي الصماوي .(Endocrine Disruptors) تتضمن التأثيرات الهرمونية المحتملة:

- اضطرابات الخصوبة والعقم.
- تشوهات الحيوانات المنوية.
- اضطرابات الدورة الشهرية.
- مشاكل في النمو الجنسي والبلوغ المبكر.
- زيادة خطر الإصابة بسرطانات الثدي و الجهاز التناسلي (البروستاتا، المبيضين).
- تشير الدراسات الوبائية إلى أن التعرض لانبعاثات حرق النفايات قد يرتبط بزيادة خطر الإصابة بسرطان الثدي والمثانة والكبد والمعدة، مع نسب خطورة تراوحت بين 0.7 - 2.2 في بعض الدراسات (Ragazzi, M., et al. 2024).

السرطانات:
يُعد السرطان من أخطر الآثار الصحية طويلة المدى المرتبطة بالتعرض للملوثات المنبعثة من حرق النفايات. فالكثير من المركبات المنبعثة، مثل الديوكسينات والفيورانات والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات وبعض المعادن الثقيلة) مثل الكروم سداسي التكافؤ(CrVI)، مصنفة كمواد مسرطنة من قبل الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC).

تتضمن أنواع السرطانات المرتبطة بهذه الملوثات:

- سرطان الرئة والحنجرة.
- سرطان الجهاز الهضمي (المعدة، الكبد، القولون).
- سرطان المثانة.
- سرطان الثدي.
- سرطان الدم (اللوكيميا) والأورام اللمفاوية.

- ساركوما الأنسجة الرخوة (Ragazzi, M., et al. 2024) .

الفئات الأكثر تضرراً:

تتحدد الفئات السكانية الأكثر عرضة للمخاطر الصحية الناجمة عن حرق النفايات بناءً على عوامل عدة:

- **الأطفال** :لكون أجهزتهم التنفسية والمناعية والعصبية لا تزال في طور النمو، ولارتفاع معدل تنفسهم مقارنة بوزن الجسم (WHO. 2024) .
- **كبار السن** :بسبب ضعف أجهزتهم المناعية والتنفسية وارتفاع معدل انتشار الأمراض المزمنة لديهم.
- **النساء الحوامل والأجنة** :حيث يمكن للملوثات عبور المشيمة والتأثير على نمو الجنين.
- **مرضى الأمراض المزمنة** :خاصة أمراض القلب والرئة والسكري والربو.
- **عمال جمع النفايات والعاملون في المكبات** :وهم الأكثر تعرضاً مباشرة للملوثات والمواد الخطرة.
- **الفئات ذات الدخل المنخفض والسكان المحيطون بالمكبات** :بسبب قربهم من مصادر التلوث ومحدودية حصولهم على الرعاية الصحية (Zourou. F., et al, 2025).

ثالثاً: التأثيرات المشتركة للحرق المكشوف والمكبات غير المهيأة:

عندما يتم الجمع بين الحرق المكشوف والمكبات غير المهيأة، تتضاعف الآثار البيئية والصحية بشكل كبير. فالمكب العشوائي يوفر المادة الخام (النفايات) للحرق، بينما يعمل الحرق على إطلاق الملوثات في الهواء ونقلها إلى المناطق السكنية المجاورة. وتؤكد دراسة حديثة لمنظمة الصحة العالمية أن "الإلقاء المكشوف والحرق المكشوف يضران بالنظم البيئية، ويساهمان في تغير المناخ، ويقوضان جهود بناء مدن صحية . (WHO 2025).

تشير الدراسات إلى أن ما يقرب من 3 مليارات شخص حول العالم ما زالوا يحرقون الوقود الصلب (بما في ذلك النفايات) لأغراض الطهي والتدفئة في منازلهم، مما يعرضهم لمستويات عالية من التلوث الداخلي. كما تؤكد منظمة الصحة العالمية أن "النفايات الصلبة تعكس كيفية إنتاج مجتمعاتنا واستهلاكها، وكيف نتعامل مع الناس والبيئة في هذه العملي (WHO. 2025)

تحليل وتفسير وردة الرياح لمنطقة هون (ليبيا):

أولاً: وصف الشكل والمصدر:

تمثل وردة الرياح (Wind Rose) أداة رسومية تجمع بين اتجاه الرياح (مقسمة إلى 16 اتجاهًا رئيسيًا وفرعيًا) وسرعتها (مقسمة إلى فئات تبدأ من أقل من 2 كم/ساعة إلى أكثر من 50 كم/ساعة) كما في الشكل (3).

- **الموقع :**هون (29.13° شمالاً، 15.95° شرقًا)، وهي مدينة تقع في منطقة الجفرة وسط ليبيا، ضمن النطاق الصحراوي.
- **المصدر :**بيانات إعادة التحليل ERA5T الصادرة عن المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى(ECMWF) ، وهي بيانات مستمرة وموثوقة تُستخدم في الدراسات المناخية عند غياب محطات أرضية.

ثانيًا: تحليل اتجاهات الرياح السائدة:

باتجاه عقارب الساعة بدءًا من الشمال.

الهيمنة المطلقة للرياح الشمالية والشمالية الشرقية:

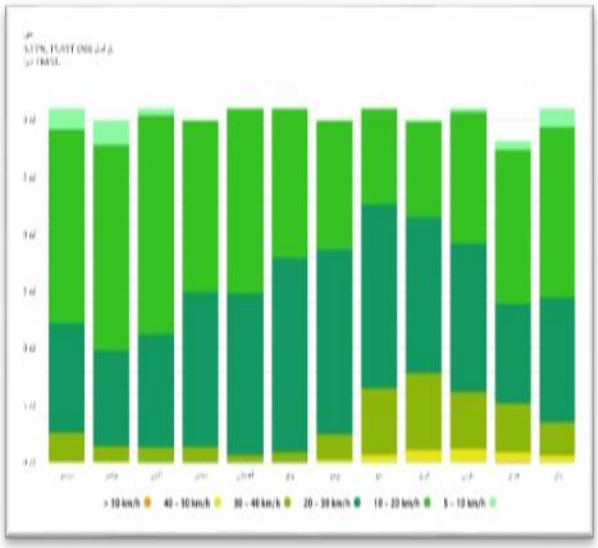
- الاتجاهات (N) شمال و (NNE) شمال-شمال شرق و(NE) شمال شرق (تشكل أكبر نسبة من مجموع الرياح المسجلة.كما في الشكل (4).
- يُفسر ذلك بموقع المنطقة ضمن نطاق تأثير المرتفع الجوي الآزوري الممتد أحيانًا، أو الرياح الشمالية القادمة من البحر المتوسط والتي تخترق الداخل الليبي، خاصة في فصول الربيع والصيف.

اتجاهات شرقية وغربية محدودة:

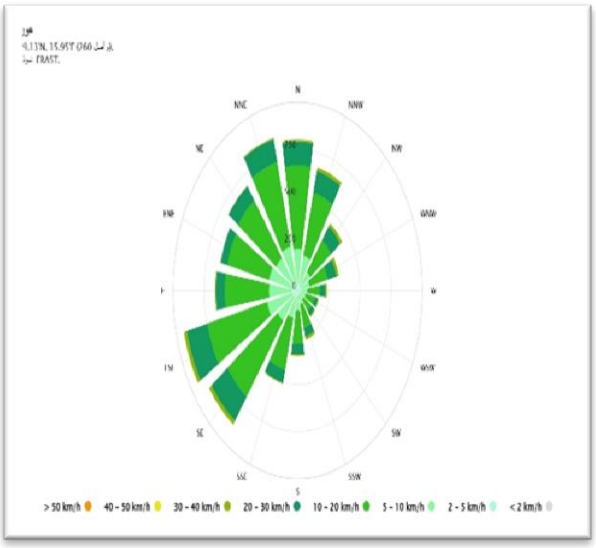
- الاتجاهات (Eشرق) و(Wغرب) تظهر بنسب أقل بكثير، مما يشير إلى أن الأنظمة الجوية التي تسبب رياحًا شرقية (مثل منخفض البحر الأحمر أحيانًا) أو غربية (مثل امتداد المنخفضات الأطلسية) ليست سائدة في الموقع.

ضعف الرياح الجنوبية:

- الاتجاهات (S جنوب) و(SSW جنوب-جنوب غرب) و(SW جنوب غرب) تمثل أقل التكرارات.
- هذا أمر متوقع في المنطقة؛ لأن الرياح الجنوبية في ليبيا ترتبط عادة بـ رياح القبلي (Ghibli) التي تكون جافة وحارة، وتحدث لفترات قصيرة نسبيًا وليست مستدامة إحصائيًا مقارنة بالرياح الشمالية.



الشكل (3) اتجاه الرياح للمدينة.



الشكل (4) سرعة الرياح للمدينة.

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على http://www.meteoblue.com

ثالثًا: تحليل توزيع سرعات الرياح:

- **الفئات العليا من السرعة (30< كم/ساعة):**
- تتركز بشكل واضح في الاتجاه **الشمالي (N)** ، مما يشير إلى أن الرياح الشمالية القوية هي المسيطرة على النظام الريحي في المنطقة.
- هذا يتوافق مع تأثير **الرياح الشمالية الغربية (Etesians)** الموسعة في شرق المتوسط، والتي تمتد تأثيراتها إلى شمال ووسط ليبيا، خاصة في فصل الصيف.

- **الفئات المتوسطة والمنخفضة (5 – 30 كم/ساعة):**
- تتوزع بشكل رئيسي على الاتجاهات الشمالية والشرقية والشمالية الشرقية.
- تشير إلى أن معظم أيام السنة تشهد رياحًا معتدلة إلى هادئة نسبيًا، وهي ملائمة للأنشطة البيئية والزراعية المحدودة في الواحات المحيطة بهون.

رابعًا: التفسير الجغرافي والمناخي:

1. **الموقع في العمق الصحراوي:**

- هون تقع في منطقة صحراوية قاحلة، لكن قربها النسبي من الساحل الشمالي (حوالي 250-300 كم) يجعلها عرضة للتأثيرات الشمالية المتوسطية، خاصة في فترات امتداد المرتفعات الجوية.

2. **دور التضاريس:**

- المنطقة مسطحة نسبيًا ضمن حوض الجفرة، مما يسمح بمرور الرياح دون عوائق طوبوغرافية كبيرة؛ لذا فإن الاتجاه السائد للرياح يعكس بشكل جيد أنماط الضغط الجوي الكبرى دون تأثير محلي معقد.

3. **غياب الرياح الجنوبية الغربية الحارة:**

- ضعف الرياح الجنوبية الغربية (SW) يدل على أن رياح **القبلي** ليست ظاهرة مستمرة في المتوسط السنوي، رغم حدوثها في موجات قصيرة قد تثير العواصف الترابية.

النتائج والمناقشة:

التوافق المكاني الخطير (المكب ← الرياح ← المدينة):

تُعد هذه النتيجة المحورية في الدراسة. أثبت التحليل أن مكب النفايات يقع شمال مدينة هون، بينما تهب الرياح السائدة من الشمال والشمال الشرقي. هذا يعني أن المدينة تقع في **اتجاه الرياح** بالنسبة للمكب، مما يجعلها المسار المباشر لعمود الدخان والغازات والجسيمات المتطايرة. هذا التوافق يعد انتهاكًا صارخًا لأبسط معايير التخطيط البيئي التي تنص على ضرورة إقامة المكبات في اتجاه الرياح السفلية بالنسبة للتجمعات السكانية، وليس العكس.

الآثار البيئية المتفاقمة:

إلى جانب تلوث التربة والمياه الذي أشارت إليه دراسة اكريم (2024)، يؤدي حرق النفايات إلى:

- **تلوث الهواء الحاد :**انبعاث غاز الميثان (مساهم في الاحتباس الحراري)، وأول أكسيد الكربون (سام ومميت)، وأكاسيد النيتروجين والكبريت (تسبب الأمطار الحمضية)، والجسيمات الدقيقة (تسبب أمراض الرئة). تعمل الرياح السائدة على نقل هذه الملوثات لمسافات بعيدة داخل المدينة.
- **تضاعف الروائح الكريهة :**الحرارة المرتفعة في الصيف تعجل بتعفن النفايات، وعملية الحرق تنتج روائح كيميائية نفاذة، وتقوم الرياح بنشرها في جميع أرجاء المدينة، مما يزيد من حدة الشكوى السكانية.

الآثار الصحية المباشرة:

نتيجة لاستنشاق الهواء الملوث يوميًا، تتوقع الدراسة (وهو ما يتوافق مع الأدبيات الطبية) تسجيل معدلات مرتفعة من الأمراض التنفسية بين سكان مدينة هون، خاصة:

- التهاب الشعب الهوائية المزمن والربو.
- حساسية العين والجلد.
- الصداع والغثيان والإرهاق نتيجة استنشاق أول أكسيد الكربون.
- زيادة خطر الإصابة بأمراض القلب والسرطان على المدى الطويل بسبب التعرض المستمر للملوثات العضوية الثابتة والجسيمات الدقيقة.
- تؤكد دراسة اكريم أن 90% من العينة أفادوا بانتشار الروائح المزعجة والحشرات، وهذه الأعراض تتفاقم بشكل كبير مع الحرق ونقل الملوثات بالرياح.

ضعف البنية التحتية والإدارة:

أظهرت نتائج دراسة اكريم (2024) قصورًا واضحًا في خدمات إدارة النفايات:

- 75%من العينة أفادوا بعدم تزامن موعد جمع النفايات مع إخراجهم لها.
- الصعوبات تمثلت في عدم توفر الحاويات والمركبات (50% من العينة).
- 70%من العينة ينقلون نفاياتهم بمركباتهم الخاصة ويلقونها في العراء، مما يغذي المكب العشوائي.

غياب الحرق المحكوم (الترميد) والمكبات الصحية يجعل الحرق العشوائي هو "الحل" الوحيد المتاح للتخلص من الكميات المتراكمة، وهي حل كارثي.

الاستنتاجات:

بناءً على التحليل المكاني والمناخي والبيئي، تخلص الدراسة إلى ما يلي:

1. **خلل تخطيطي جسيم :**يقع المكب الرئيسي لمدينة هون في اتجاه الرياح السائدة (الجنوب)، مما يجعل المدينة مستقبلًا دائمًا للملوثات.

2. **مخاطر صحية وبيئية حتمية :**يتسبب حرق النفايات في هذا الموقع بتلوث هواء حاد في المدينة، ومن المتوقع أن يكون مرتبطًا بارتفاع ملحوظ في أمراض الجهاز التنفسي والحساسية بين السكان.
3. **تفاقم المشكلة مناخيًا :**يسهم المناخ الصحراوي الحار والجاف في زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية للغازات وتركيز الملوثات في الغلاف الجوي القريب من السطح.
4. **إدارة نفايات غير فعالة :**تعتمد المدينة على ممارسات بدائية (الحرق العشوائي، جمع غير منتظم) تفتقر إلى الحد الأدنى من معايير السلامة البيئية والأمن الجغرافي.

التوصيات:

للحد من هذه المخاطر وتحقيق الأمن الجغرافي والبيئي لمدينة هون، توصي الدراسة بما يلي:

1. **نقل المكب فوريًا :**يجب إغلاق المكب الحالي الواقع جنوب المدينة فورًا، ونشاطه، ونقل النفايات إلى موقع جديد يتم اختياره بعناية وفق المعايير التالية:
   - أن يكون في **اتجاه الرياح السفلية (Downwind)** بالنسبة للمدينة (أي جنوب المدينة بما أن معظم الرياح شمالية، أو جنوب غربي إذا كانت الرياح شمالية شرقية).
   - أن يقع على مسافة لا تقل عن 5-10 كم من التجمعات السكنية.
   - أن يكون بعيدًا عن مصادر المياه الجوفية والوديان.
2. **اعتماد تقنيات معالجة آمنة:**
   - **الدفن الصحي :**إنشاء مكب صحي متكامل ببطانة عازلة وشبكة لتصريف العصارة والغازات.
   - **الحرق المحكوم (الترميد) :**استخدام محارق حديثة بدرجات حرارة عالية(°900< م) ومزودة بمرشحات وأبراج غسيل لتنقية الغازات المنبعثة، والاستفادة من الحرارة لتوليد الطاقة.
3. **تحسين إدارة جمع النفايات :**توفير حاويات كافية ومناسبة، وتحديد جداول ثابتة ومنتظمة لجمع النفايات تتزامن مع أوقات إخراجها من قبل المواطنين، وتوسيع الخدمة لتشمل جميع الأحياء.
4. **تفعيل برامج إعادة التدوير والوعي البيئي :**إطلاق حملات توعوية مستمرة حول مخاطر الحرق العشوائي وفوائد الفرز من المصدر (إعادة التدوير). إنشاء مصنع صغير لتحويل النفايات العضوية إلى أسمدة عضوية (الكومبوست).
5. **سن القوانين وتطبيقها :**إصدار لوائح بلدية صارمة تجرم الحرق العشوائي للنفايات، وتفرض غرامات على المخالفين، مع تقديم حوافز للممارسات الجيدة.

المراجع :

أولاً: قائمة المراجع باللغة العربية:

[1] الهمالي، محمد إبراهيم. (2007) أثر التغيرات السكانية بمدينة هون على توزيع وتركيب السكان خلال الفترة 1973-1995، رسالة ماجستير منشورة.

[2] اكريم، عبد العزيز مفتاح ميلاد. (2024). واقع النفايات المنزلية في مدينة هون الليبية "دراسة في جغرافية البيئة". (العدد الرابع، يونيو 2024م).

[3] التريكي، جلال. (2001). الآثار الصحية الناتجة عن التلوث بالقمامة. مجلة البيئة، العدد الرابع، الربيع.

[4] الخطيب، أحمد شفيق، وسليمان، يوسف. (2000). النفايات: إعادة تدويرها واستخدامها. مكتبة لبنان.

[5] دعيبس، فتحي عبد العزيز. (2000). دور السموم والملوثات البيئية في مكونات النظام البيئي. دار الفجر للنشر والتوزيع، القاهرة.

[6] مكتب السجل المدني هون، (2025) إحصائيات غير منشورة.

ثانياً: قائمة المراجع باللغة الإنجليزية:

[7] Arya, S. P. (1999). *Air pollution meteorology and dispersion*. Oxford University Press.

[8] Brauch, H. G. (2005). *Environment and Human Security*. UNU-EHS.

[9] Elmahdawy, F., et al. (2017). Medical waste management in Libya. *Journal of Environmental Management*.
[10] Esri. (2021). *ArcGIS Desktop (Version 10.8.1)* [GIS software]. Retrieved April 4, 2026, from https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources
[11] Estrellan, C. R., & Iino, F. (2010). Toxic emissions from open burning. *Chemosphere*, 80(3), 193-207.
[12] Gautam, A., Malla, D., Khatiwada, A., Kafley, G., Shah, S. K., & Kafle, S. (2024). Effects of open dumping site on surrounding air, soil, and water: a case study of Biratnagar metropolitan city. *BIBECHANA*, 21(2), 171-179.
[13] Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*.
[14] Google Earth Pro (Version 7.3) [Computer software]. (2024). Google. Retrieved April 4, 2026, from https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro
[15] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0*. World Bank Group.
[16] Matthew, R. A. (2014). Environmental security. In *Routledge Handbook of Environmental Conflict*.
[17] Mattiello, A., et al. (2013). Health effects associated with the disposal of solid waste in landfills and incinerators. *International Journal of Public Health*.
[18] meteoblue. (n.d.). *Wind data for Hun, Libya* [Wind rose]. Retrieved April 4, 2026, from http://www.meteoblue.com
[19] Ragazzi, M., et al. (2024). Supporting the investigation of health outcomes due to airborne emission by different approaches: current evidence for the waste incineration sector. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(48), 58527-58540.
[20] Ravindra, K., et al. (2008). Air pollution from solid waste burning. *Environment International*.
[21] Sharma, R., et al. (2024). Global perspective of municipal solid waste and landfill leachate: generation, composition, eco-toxicity, and sustainable management strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(16), 23363-23392.
[22] WHO (World Health Organization). (1999). *Our Planet, Our Health: Report of the WHO Commission on Health and Environment*.
[23] WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines*. World Health Organization.
[24] WHO. (2024). *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment: Air pollution and health*. World Health Organization.
[25] WHO. (2025). *Open waste burning: sectoral solutions for air pollution and health*. World Health Organization.
[26] WHO. (2025). *WHO highlights health risks and opportunities in the global waste crisis*. World Health Organization.
[27] WHO Regional Office for Africa. (2025). *Air pollution: Factsheet*. World Health Organization.
[28] Zourou, F., et al. (2025). Hazardous waste management and one health approach. *Frontiers in Public Health*, 13, 1684269.

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