Received :21 / 10 / 2024 Accepted : 3 / 12 / 2024 Published: 10 / 7 / 2025

تقييم جودة الهواء المُحيط بمحطة عينكاوا باستخدام مؤشر AQI للمُدة (2023-2024)

م.م. رجاء كاظم مطر

werthirr@gmail.com

جامعة النهرين/ رئاسة الجامعة ، شعبة الحاضنة التكنولوجية

المُستخلص:

تناول البحث رصد مؤشر جودة الهواء AQI لمحطة عينكاوا في مُحافظة أربيل لمُدة 553 يوم ابتداءاً من (2023/1/1 لغاية 2024/9/4) والواقعة ضمن الاحداثيات الجغرافية 36° 14′ 04″ N – 43° 58′ 56″ E وتبعد عن مطار أربيل الدولي مسافة 720 متر فقط، وتوصل البحث الى ان 98% للجسيمات الخشنة PM_{10} ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي)، وتباينت قيمة المؤشر $PM_{2.5}$ للجسيمات الدقيقة وسجلت نسبة 41 % ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي) ، و 29% ضمن المستوى الثاني(مقبول)، و 24% ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة)، أما المستوى الرابع للتلوث (غير صحي) فقد تم تسجيل 45 يوم وبواقع 9%، وان نسبة 1% فقط ضمن المستوى الخامس للتلوث (الضار) وذلك لتأثرها بملوثات الهواء للمدينة والعوامل الجغرافية، وبالنسبة لقيمة المؤشر PM_1 الجسيمات فائقة الدقة سجلت 69% مستوى تلوث (صحي)، أما المستوى الثاني للتلوث (مقبول) فقد سجل 126 يوم ويُمثل نسبة 23%، وكما ان 49 يوم ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة) وتُشكل 10% من مجموع ايام الدراسة، وان 2% فقط ضمن المستوى الرابع للتلوث (غير صحي)، مما يجب فيه إتباع سياسات بيئية صارمة من خلال فرض قوانين على المُخلفات الباعثة للتلوث.

الكلمات المفتاحية : مؤشر جودة الهواء AQI، عينكاوا، الجسيمات الخشنة PM_{10}، الجسيمات فائقة الدقة PM_1 .

Ambient air quality assessment at Ankawa station using the AQI index for the period (2023-2024)

Assist. teacher Raja Kazem Matar

Al-Nahrain University/University Presidency - Technology Incubator Division

Abstract:

The Air Quality Index (AQI) for the Ankawa station in Erbil Governorate was monitored for 553 days, starting from January 1, 2023, until September 4, 2024, located at the geographical coordinates of 36° 14′ 04″ N - 43° 58′ 56″ E, just 720 meters away from Erbil International Airport. The study concluded that 98% of the coarse particles (PM10) fell within the first air pollution level (Healthy). The PM2.5 values for fine particles varied, with 41% falling within the first air pollution level (Healthy), 29% within the second level (Acceptable), and 24% within the third level (Unhealthy for sensitive groups). The fourth pollution level (Unhealthy) was recorded for 45 days, representing 9%, while only 1% fell within the fifth pollution level (Hazardous), influenced by urban air pollutants and geographical factors. As for the PM1 values (ultrafine particles), 69% were within the (Healthy) level, 126 days (23%) fell within the second pollution level (Acceptable), 49 days (10%) were recorded within the third level (Unhealthy for sensitive groups), and only 2% fell within the fourth level (Unhealthy). It is necessary to follow strict environmental policies by enforcing laws on pollution-causing waste.

Keywords: Air Quality Index (AQI), Ankawa, coarse particles (PM10), ultrafine particles (PM1).

 DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

المُقدمة :

يُمثل تلوث الهواء في المدن أحد أكبر التحديات البيئية التي تواجه العالم المعاصر، وهو نتاج مباشر لتزايد الأنشطة البشرية في مجالات الصناعة، النقل، والطاقة. مع تزايد أعداد السكان في المدن وارتفاع مستويات التحضر، أصبحت هذه المناطق مركزًا للانبعاثات الملوثة الناتجة عن السيارات، المصانع، ومحطات توليد الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري. يؤدي هذا التلوث إلى تفاقم مشاكل صحية خطيرة تشمل أمراض الجهاز التنفسي، القلب، وسرطان الرئة، فضلاً عن التأثيرات البيئية السلبية مثل تغير المناخ وتدهور جودة الحياة. يُعد تلوث الهواء في المدن ظاهرة معقدة ترتبط أيضًا بعوامل طبيعية مثل قلة الرياح أو الانعكاس الحراري الذي يساهم في حبس الملوثات في الهواء فضلاً عن التأثيرات الصحية، يؤدي تلوث الهواء إلى تكاليف اقتصادية كبيرة، سواء من حيث الرعاية الصحية أو خسائر الإنتاجية بسبب الأمراض المتعلقة بالتلوث. تُعد المدن الكبرى مثل بكين، دلهي، والقاهرة من أكثر المدن تأثراً بهذا التلوث، حيث تشير مستويات مؤشر جودة الهواء (AQI) فيها إلى مستويات خطرة بشكل متكرر. في المقابل، تعمل بعض المدن على تبني سياسات بيئية مبتكرة مثل تعزيز استخدام الطاقة المتجددة، تحسين نظم النقل العام، وزيادة المساحات الخضراء في محاولة للحد من هذه المشكلة.

أولاً: مُشكلة البحث: ما انواع مُلوثات الهواء في مُحافظة أربيل، وما مدى خطورتها عند مُقارنتها مع مؤشر جودة الهواء (AQI)؟

ثانياً: فرضية البحث: تتباين خصائص المصادر الطبيعية والبشرية المُلوثة للهواء في المُحافظة، وتتجاوز المُحددات القياسية لها.

ثالثاً: هدف البحث: معرفة الخصائص الطبيعية والبشرية المُلوثة للهواء في المُحافظة، وبيان قيمة مؤشر جودة الهواء (AQI).

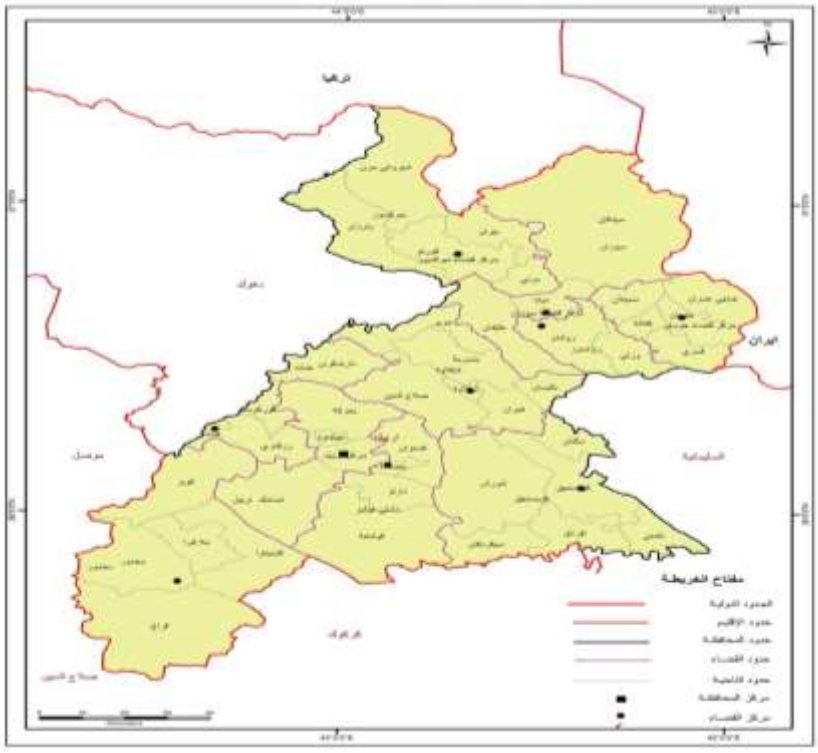
رابعاً: موقع منطقة الدراسة:

تتحدد منطقة الدراسة فلكيا بين دائرتي عرض (′ 30 °35 − ′ 15 °37) شمالاً وخطي طول (′ 22 °43 − ′ 05 °45) شرقاً، وهي تقع بين رافدين وهما الزاب الأعلى و الزاب الأسفل حيث يحدانها من الشمال و من الجنوب، وتحدها إيران من جهة الشرق و تركيا من جهة الشمال ونينوى و دهوك من جهة الغرب والشمال الغربي وكركوك والسليمانية من جهة الجنوب و الجنوب الشرقي، وتتمركز مدينة أربيل الوسط، وموضع المدينة محصور بين الأراضي المتموجة المحاذية للمنطقة الجبلية الشمالية الشرقية من جهة و منطقة السهول الجنوب الغربية من جهة أخرى (الجنابي، 1987). خريطة (1).وتبلغ مساحتها 14872.68 كم^2، وتُشكل تسعة أقضية (مركز قضاء أربيل، دةشتى هةولێر/ بنصلاوة، سؤران، شقلاوة، جومان، كؤيسنجق، ميَركةسور، خبات، رِواندوز)، و 42 ناحية (أحمد، 2022)، يسكنها 2,055,448 نسمة، ويُشكل سُكان الحضر نسبة 83.24% ويمثلون1,711,145 نسمة، أما سُكان الريف يُشكلون نسبة 16.76% ويُمثلون 344,303 نسمة، والكثافة السكانية لسنة 2022 بلغت 138.20 نسمة/كم^2 (وزارة التخطيط، 2023). كما ان متوسط هطول الأمطار في المُحافظة لسنة 2022 بلغت 440 ملم (وزارة التخطيط، 2024)، أن مساحة المُحافظة كبيرة نسبياً إذا ما قارناها بحجم السكان فضلاً عن تنوع تضاريسها ومناخها و وفرة مياهها الذي ساهم في تطورها في مجالات متعددة منها (الرعي والزراعة والصناعة) كما أن المحافظة تتمتع بالقدرة على استغلال قدراتها الذاتية في تطوير حركة السياحة في المحافظة وتنشيطها لما تتمتع به من مميزات طبيعية و وبشرية تؤهلها للتطور في هذا المجال.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

خريطة (1)

خريطة مُحافظة أربيل الادارية



المصدر: (وزارة الموارد المائية، 2022).

المبحث الاول : مصادر تلوث الهواء

تختلف جودة الهواء في المدن بشكل كبير اعتماداً على مجموعة من العوامل البيئية والأنشطة البشرية، تُظهر البيانات العالمية تفاوتًا كبيرًا في جودة الهواء بين المدن. بعض المدن، مثل أوسلو وستوكهولم، تتمتع بجودة هواء ممتازة بسبب اعتمادها على النقل المستدام والطاقة النظيفة. على النقيض، مدن مثل دلهي وبكين تُعد من بين الأكثر تلوثاً بسبب الكثافة السكانية العالية والاعتماد على الوقود الأحفوري في النقل والصناعة، في المدن الكبرى، تُعد حركة المرور الكثيفة والمصانع الكبيرة من أهم مصادر التلوث، الذي يؤثر سلباً على الصحة العامة، ويساهم في انتشار أمراض الجهاز التنفسي، القلب، والسرطان (Ravi، 2022). ومن أهم العوامل الرئيسة وأثرها هي كالاتي (صالح، 2012) :

1. **النقل** : المركبات التي تعمل بالوقود الأحفوري (البنزين والديزل) تُصدر كميات كبيرة من غازات العادم والجسيمات الدقيقة. كذلك يؤدي ازدحام المرور في المدن الكبرى إلى تراكم هذه الملوثات بشكل كبير. لذا تُعد المركبات الكهربائية خياراً صديقاً للبيئة، ولكن لا يزال انتشارها محدوداً في كثير من الدول.

2. **الصناعة** : المدن الصناعية تعاني من تلوث هوائي كبير بسبب الانبعاثات الصادرة من المصانع ومحطات توليد الطاقة. المواد الكيميائية والمركبات العضوية المتطايرة التي تُطلق من هذه المصانع تساهم في تشكل الضباب الدخاني والأوزون الأرضي.

3. **المواسم والمناخ** : الطقس يؤدي دوراً هاماً في تراكم أو تفريق الملوثات، يمكن للأحداث الطبيعية مثل حرائق الغابات وإطلاق حبوب اللقاح والعواصف الترابية أن تسبب ارتفاعات في بعض الملوثات، على سبيل المثال، في فصل الشتاء قد تتجمع الملوثات بسبب الانعكاس الحراري، إذ يبقى الهواء البارد محصوراً في الطبقات السفلى دون أن يرتفع، مما يحبس الملوثات. في بعض المدن مثل لوس أنجلوس أو مكسيكو سيتي، تُعتبر هذا الظاهرة عاملًا أساسيًا في سوء جودة الهواء.

4. **حرق الوقود الصلب** : بعض المناطق الحضرية لا تزال ممارسة حرق الفحم أو الخشب لتدفئة المنازل أو للطهي مصدرًا كبيرًا للتلوث. يؤدي الى زيادة تركيز الجسيمات الدقيقة في الهواء، مما يزيد من خطورة الأمراض التنفسية.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

5. الأنشطة الزراعية المحيطة بالمدن :رغم أن المدن نفسها قد لا تحتوي على مساحات زراعية كبيرة، إلا أن المدن المجاورة للأراضي الزراعية قد تتأثر باستخدام المبيدات الحشرية والأسمدة التي تُطلق مركبات كيميائية ضارة. هذه المواد قد تتفاعل مع الملوثات الأخرى لتشكل ضباباً ضارًا، مثل الأوزون الأرضي. وتتفاوت نسبة المُساهمة من مصدر الملوثات. جدول (1). شكل (1).

(جدول 1)

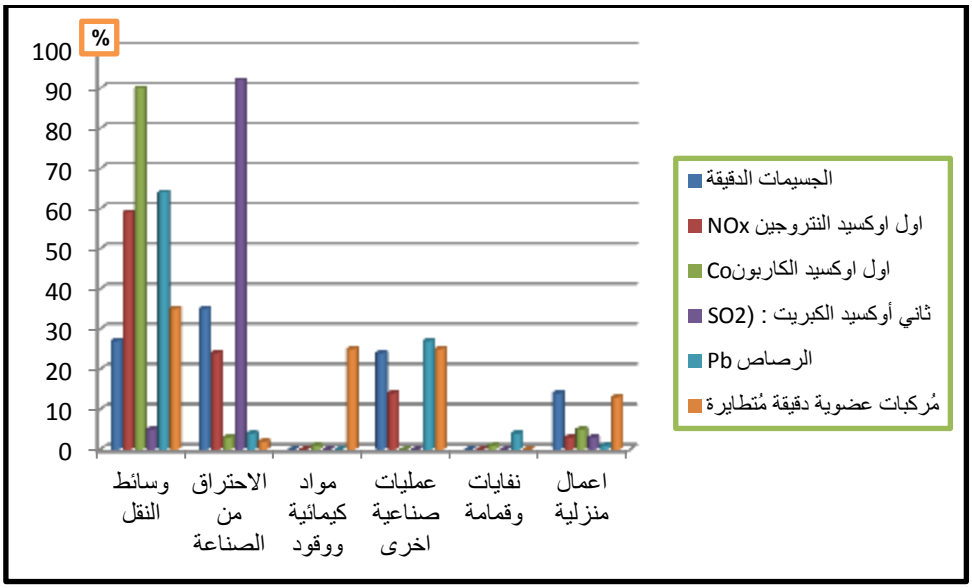
المصادر الرئيسة لتلوث الهواء ونسبة مُساهمتها في زيادة الملوثات المعيارية (%)

مصدر المُلوثات	الجسيمات الدقيقة	اول اوكسيد النتروجين NOx	اول اوكسيد الكاربون Co	ثاني أوكسيد الكبريت $SO2$	الرصاص Pb	مُركبات عضوية دقيقة مُتطايرة
وسائط النقل	27	59	90	5	64	35
الاحتراق من الصناعة	35	24	3	92	4	2
مواد كيمائية ووقود	–	–	1	–	–	25
عمليات صناعية اخرى	24	14	–	–	27	25
نفايات وقمامة	–	–	1	–	4	–
اعمال منزلية	14	3	5	3	1	13

المصدر: (مطر، 2024).

(شكل 1)

المصادر الرئيسة لتلوث الهواء ونسبة مُساهمتها في زيادة الملوثات المعيارية (%)



المصدر: بيانات جدول (1).

التأثيرات الصحية لتلوث الهواء:

وفقًا لمنظمة الصحة العالمية WHO، يعيش 99% من سكان العالم في مناطق تم فيها انتهاك مستويات إرشادات جودة الهواء الخاصة بالمنظمة، وترتبط التأثيرات المشتركة لتلوث الهواء المحيط وتلوث الهواء المنزلي بحوالي 6.7 مليون حالة وفاة مبكرة سنويًا، في حين يُقدر أن تلوث الهواء الخارجي وحده تسبب في 4.2 مليون حالة وفاة مبكرة على مستوى العالم في عام 2019. تحدث غالبية الوفيات المبكرة، حوالي 89% منها، في البلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط، خاصة في جنوب شرق آسيا وغرب المحيط الهادئ،

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

(WHO., 2005)، تلوث الهواء يؤثر بشكل مباشر على الصحة العامة، من بين أهم المشاكل الصحية المرتبطة بجودة الهواء الرديئة (Wambebe, 2020) :

1. **أمراض الجهاز التنفسي** :مثل الربو، التهاب الشعب الهوائية، وانتفاخ الرئة. الجسيمات الدقيقة ($PM_{2.5}$) التي تخترق الرئتين تُعتبر الأكثر خطورة لأنها تدخل مجرى الدم.
2. **أمراض القلب والأوعية الدموية** :زيادة مستويات التلوث ترتبط بارتفاع معدل الأزمات القلبية والسكتات الدماغية.
3. **السرطان** :التعرض طويل الأمد لبعض الملوثات مثل البنزين والجسيمات الدقيقة قد يزيد من خطر الإصابة بسرطان الرئة.

المبحث الثاني : مؤشر جودة الهواء(AQI) (Air Quality Index)

مقياس رقمي يستخدم للتواصل حول جودة الهواء في منطقة معينة، يوفر معلومات حول مدى تلوث الهواء حاليًا أو مدى التلوث المتوقع أن يصل إليه، وذلك استنادًا إلى ملوثات مختلفة، حيث تقوم IQAir أكبر منصة مجانية لمراقبة جودة الهواء في الوقت الفعلي في العالم، حيث يتم نمذجة مؤشر جودة الهواء باستخدام بيانات الأقمار الصناعية لمساعدة العديد من الأفراد حول العالم في الوصول إلى معلومات دقيقة حول جودة الهواء في جميع الأوقات. يوفر موقع (https://www.iqair.com) الوصول إلى مؤشر جودة الهواء، وترتيب المدن، والتنبيهات حول التلوث، وتوقعات تلوث الهواء، مما يسهل تنظيم الأنشطة اليومية والبقاء في مأمن من التلوث، تقوم أجهزة IQAir بتتبع متوسط تركيز الملوثات في المدينة على أساس كل ساعة، كما توفر رقمًا يوميًا لمؤشر جودة الهواء (AQI). ويمكن حساب المؤشرات بناءاً على عدد أقل من المُلوثات، و يأخذ عادة في الاعتبار ثلاثة ملوثات رئيسة (الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية، 2022) :

- **الجسيمات الخشنة *Particulate Matter*** (PM_{10}) أقل من 10 ميكرومتر، اي (0.01 ملم)، وتُقاس بوحدة $(\mu g/m^3)$. ومن ضمنها الغبار المرئي، والرمل، والأوراق، والشعر، والجزيئات العضوية الأخرى، وهي جزيئات صغيرة جداً صلبة أو سائلة عالقة في الهواء، تنتج من عوامل طبيعية أو نتيجة لأنشطة بشرية مختلفة، مصدرها حركة المرور على الطرق وتآكل الطرق، وتتكون نتيجة عمليات الاحتراق. عند التنفس، تبقى هذه الجسيمات في الرئتين ولا تخترق أعمق في الجهاز التنفسي .
- **الجسيمات الدقيقة** ($PM_{2.5}$) أقل من 2.5 ميكرومتر، أي (0.0025 ملم)، وتُقاس بوحدة $(\mu g/m^3)$. وهي جزيئات صغيرة جداً صلبة أو سائلة عالقة في الهواء، ومن ضمنها بعض أنواع البكتيريا والجراثيم و الجراثيم العضوية الأخرى، وتنتج عن الأنشطة الصناعية المختلفة، ويكمن خطرها إلى أنها بعد استنشاقها يمكنها الدخول عبر الرئتين إلى مجرى الدم، ينتج جزء كبير منها عن الأنشطة الملوثة (محركات الديزل، السخام، الجسيمات الناتجة عن التحول الكيميائي للغازات الملوثة إلى نترات وكبريتات، والنفايات الناتجة عن الاحتراق). تتميز هذه الجسيمات بأنها قادرة على اختراق الحويصلات الهوائية في الرئتين والتغلغل بشكل أعمق من جسيمات(PM_{10}) .
- **جسيمات (PM_1) الجسيمات فائقة الدقة** أقل من 1 ميكرومتر، أي (0.001 ملم)، وتُقاس بوحدة $(\mu g/m^3)$. وهي الجسيمات التي يبلغ قطرها أقل من أو يساوي 1 ميكرون تُعرف باسم الجسيمات النانوية، ومن ضمنها الغبار، والبكتيريا والفيروسات، وتنتج إنبعاثات من المصانع وغيرها من الأنشطة الصناعية و عوادم السيارات، والدخان الناتج عن حرائق الغابات أو حرق الأخشاب، إن تكنولوجيا مراقبة *PM1* محدودة، وباهضه الثمن بسبب حرك الجزيئات النانوية لحركة براونية في الهواء، وهي حركة غير منتظمة في الهواء بسبب الاصطدام بجزيئات أخرى محمولة في الهواء، وهذا يعني أن *PM1* يتصرف مثل الغاز أكثر من كونه جسيمًا صلبًا، وتتطلب الغازات تقنيات مراقبة مختلفة كثيرًا عن الجسيمات للقياس الدقيق (Khazaei، 2021) .
- تشكل هذه الجسيمات أكبر خطر على الصحة لأنها قادرة على عبور حاجز الحويصلات الشعرية، والدخول مباشرة إلى مجرى الدم عبر الرئتين، ومن ثم الانتشار إلى الأعضاء بما في ذلك الدماغ، حيث عند التنفس، يدخل الهواء عبر الفم أو الأنف أو القصبة الهوائية، التي تقوم بدورها بنقل الهواء إلى الشعب الهوائية، وفي نهاية هذه الشعب توجد الحويصلات الهوائية التي تنقل الأكسجين إلى الدم ليقوم بتوزيعه في أنحاء الجسم، إذا كان الهواء ملوثًا، فإن الجسيمات الضارة تختلط مع الأوكسجين المستنشق وتخترق أعماق الشعب الهوائية، ثم تنتقل إلى مجرى الدم، استنشاق هذه الجسيمات يزيد من احتمالية حدوث مشاكل صحية، بما في ذلك خطر الإصابة بالنوبات القلبية والسكتات الدماغية.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

فضلاً عن حساب المؤشرات الفرعية للملوثات الفردية المتداخلة مع الجسيمات الخشنة والدقيقة والمُقاسة بوحدة جزء في البليون (يرمز له اختصاراً ***ppb*** من *parts per billion*) وهي (وزارة التغيير المناخي والبيئة، 2023) :

- **الأوزون *(O3)*:** والمقصود هنا الأوزون القريب من سطح الأرض، وهو ملوث ثانوي ينتج من تفاعلات كيميائية ضوئية في الجو، بين أكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات النشطة، ويؤدي التعرض له إلى ضيق التنفس، وتهيج العين، خاصة عند الأطفال والمسنين الذين يعانون من أمراض مزمنة.
- **ثاني أكسيد النيتروجين *(NO2)*:** وهو من أكثر ملوثات الهواء شيوعاً، إذ ينتج عن احتراق الوقود الأحفوري، كما يمكن أن يتكون نتيجة تأكسد النيتروجين الجوي عند درجات حرارة عالية، ويؤثر ثاني أكسيد النيتروجين على الجهاز التنفسي للإنسان عند استنشاقه .
- **ثاني أكسيد الكبريت *(SO2)*:** وهو غاز ينتج من احتراق الوقود الأحفوري أو المواد الأخرى المحتوية على الكبريت، ويؤثر سلباً على وظائف الجهاز التنفسي، خاصة عند الأطفال والمسنين الذين يعانون من أمراض القلب والرئتين .
- **أول أكسيد الكربون *(CO)*** : وهو غاز سام، عديم اللون والرائحة، وينتج عن عمليات الاحتراق غير الكاملة للمواد الهيدروكربونية، وقد يُسبب الشعور بالصداع، والغثيان، والدوار، ويزيد من خطر الإصابة بأمراض القلب، وقد يؤدي التعرض له بتراكيز عالية إلى الوفاة.

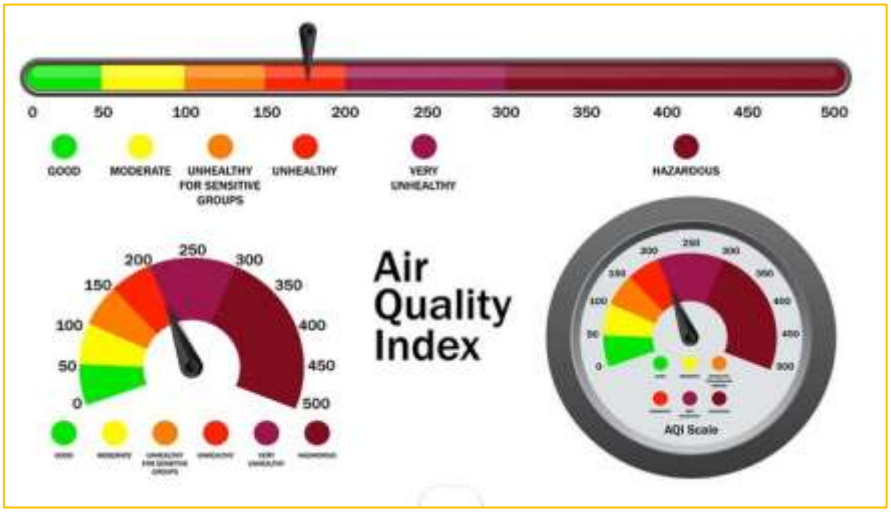
أولاً: درجات جودة الهواء: يُعتبر مؤشر جودة الهواء طريقة مبسطة لتحويل البيانات الواردة من محطات الرصد ومراقبة جودة الهواء إلى أرقام بسيطة، وتصنيف هذه الأرقام إلى درجات يتم اظهارها على شكل ألوان محددة، فكلما ارتفعت التركيزات، ارتفع المؤشر، حيث ينقسم مقياس جودة الهواء إلى ست فئات أساسية، وهي (World Health Organization, 2017) :

- **اللون الأخضر من (0 – 50) – صحي:** تكون جودة الهواء عند هذا المؤشر جيدة، وهي الجودة المثالية لأغلب الأشخاص، حيث يمكن الاستمتاع بالأنشطة المعتادة في الهواء الطلق .
- **اللون الأصفر من (51 – 100) مقبول :** تكون جودة الهواء معتدلة ومقبولة بشكل عام لأغلب الأشخاص، ولكن قد تظهر أعراض بسيطة إلى متوسطة عند التعرض للهواء لفترات طويلة، لدى بعض الأشخاص الذين يعانون من الحساسية .
- **اللون البرتقالي من (101 – 150) – غير صحي للفئة الحساسة:** تعتبر مستويات تلوث الهواء مرتفعة عند هذا المؤشر، وتصبح جودة الهواء سيئة وغير صحي، خاصة للمصابين بالحساسية، لذلك ينبغي تقليل الوقت الذي يتم قضاؤه في الخارج في حال الشعور بأعراض مثل: صعوبة التنفس، أو تهيج الحلق .
- **اللون الأحمر من (151 – 200) – غير صحي:** وهذا المؤشر يعني أن الهواء غير صحي، فقد تظهر تداعيات صحية فور تعرض الأشخاص المصابين بالحساسية لهذا الهواء، كما أنه يؤثر على الأصحاء عند تعرضهم للهواء لفترات طويلة، فقد يصيبهم بصعوبة في التنفس، وتهيج الحلق، لذلك يُنصح بتقليل الأنشطة الخارجية .
- **اللون البنفسجي من (201 – 300) – ضار:** يكون الهواء عند هذا المؤشر غير صحي تماماً، وعندها يمكن أن تظهر مشاكل صحية عند الأشخاص المصابين بالحساسية، وينبغي عليهم تجنب الأنشطة الخارجية، وقد يعاني باقي الأشخاص من صعوبة في التنفس وتهيج في الحلق، ويُنصح بعدم الخروج وتغيير مواعيد الأنشطة الخارجية .
- **اللون الأحمر الداكن أو البني من (301 – 500) – خطر:** عند هذا المؤشر تكون جودة الهواء سيئة جدا ويصبح خطير على الصحة، حيث أن التعرض للهواء ولو لفترات قصيرة، قد يؤدي إلى تداعيات صحية خطيرة، لذلك ينبغي تجنب الأنشطة الخارجية. شكل (2).

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

شكل (2)

درجات جودة الهواء



المصدر: (Human Rights Council. , 2019)

ثانياً: كيفية حساب (AQI): يتم حسابها عن طريق المعادلة (Boguski, 2006) :

$$AQI = \frac{AQI\ high - AQI\ low}{conc.high - conc.low} \times (conc.i - conc.low) + AQI\ low$$

حيث:

i .Conc : تركيز الادخال لملوث مُعين

Conc. : المنخفض هو نقطة توقف التركيز التي تكون أقل من أو تساوي Conc.i

Conc. high : *هو نقطة التوقف للتركيز التي تكون اكبر من* Conc.i أو تساويها

AQI low : هو قيمة نقطة التوقف *AQI* المُقابلة لانخفاض Conc.

AQI high: هو قيمة نقطة التوقف *AQI* المُقابلة لارتفاع *Conc*.

ولغرض توحيد الوحدات بين وحدات الجُسيمات الخشنة والدقيقة والتي مُقاسة بوحدة ($\mu g/m^3$)، وبين وحدات الغازية المُقاسة بوحدة ppb من خلال تطبيق المُعادلة الاتية: $\mu g/m3 = 0.0409 \times (ppb) \times M$

حيث ان: ***M*** يُمثل الكتلة المولية للمادة المعنية، وتتفاوت بين أنواع الغازات المُقاسة. جدول (2).

جدول (2)

التحويل بين (µg/m3) & ppb

µg/m3	*(ppb)*	الكتلة المولية *(g/mol)*	الغاز المُلوث
1.15	1	28.01	***Co***
1.88	1	46.01	NO_2
1.96	1	48.00	O_3
2.62	1	64.1	SO_2

المصدر: (Affairs, 2019) .

تفاوتت درجة تلوث الهواء المكون من ستة مستويات ولكل مستوى لون خاص بهِ، و قيمة المؤشر AQI ومستويات التأثيرات الصحية فيما بينها. جدول (3).

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

جدول (3)

مستوى تلوث الهواء و قيمة المؤشر *AQI* ومستويات التأثيرات الصحية

مستوى تلوث الهواء	لون AQI اليومي	Conc.PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Conc. $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	Conc. PM_1 ($\mu g/m^3$)	مستويات التأثيرات الصحية	قيمة المؤشر AQI
1		75-0	12-0	12-0	صحي	75-0
2		150-76	35.4-12.1	35.4-12.1	مقبول	100-76
3		250-151	55.4-35.5	55.4-35.5	غير صحي للفئة الحساسة	150-101
4		350-251	150.4-55.5	150.4-55.5	غير صحي	200-151
5		420-351	250.4-150.5	250.4-150.5	ضار	300-201
6		أكثر من 420	أكثر من 250.5	أكثر من 250.5	خطر	أكثر من 301

المصدر: (HealthOrganization, 2021) .

المبحث الثالث: قيمة (AQI) للمُحافظة : تتأثر قيمة AQI في المُحافظة إعتماداً على عدة عوامل منها:

اولاً: مساحة الاراضي الزراعية:

تبلغ المساحة الكلية الاراضي الزراعية 7779686 دونم، تُشكل الصالحة للزراعة منها 2505120 دونم، المراعي الطبيعية تُمثل 1403999 دونم. جدول (4). شكل (3).

جدول (4)

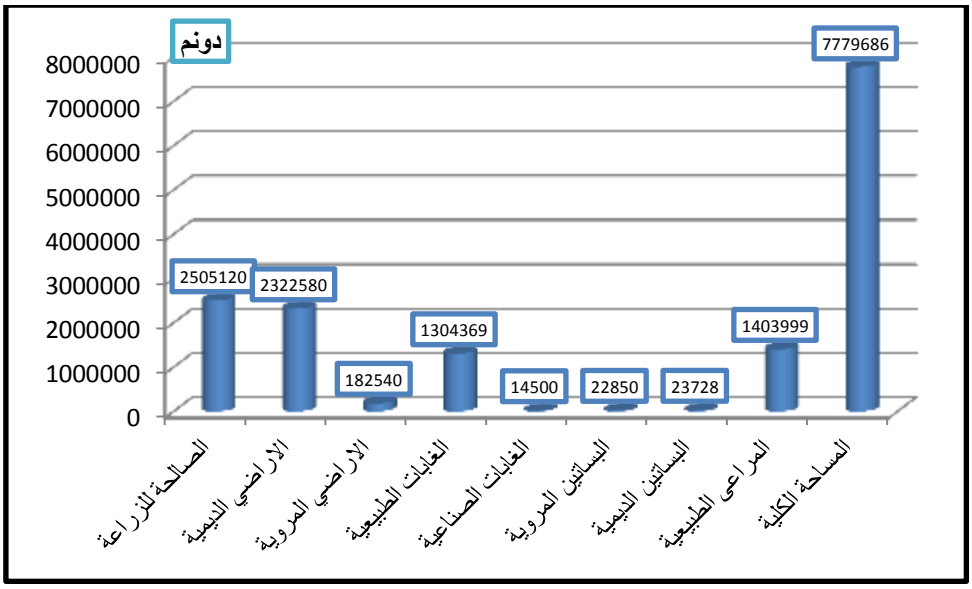
مساحة الاراضي الزراعية (دونم) في المُحافظة لسنة 2021

الصالحة للزراعة	الاراضي الديمية	الاراضي المروية	الغابات الطبيعية	الغابات الصناعية	البساتين المروية	البساتين الديمية	المراعي الطبيعية	المساحة الكلية
2505120	2322580	182540	1304369	14500	22850	23728	1403999	7779686

المصدر: (دائرة زراعة أربيل، 2023)

شكل (3)

مساحة الاراضي الزراعية (دونم) في المُحافظة لسنة 2021



المصدر: بيانات جدول (4).

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

ثانياً: أنواع الصناعات:

يؤثر الإنتاج الصناعي على كمية ونوعية المُتساقطات الجوية في المُحافظة، من خلال ما تُلقيه من مُلوثات غازية ودقائق جُسيمية والناتجة من حرق الوقود ومراحل العملية الانتاجية، يوجد 97 معمل، منها معامل المُنتجات الغذائية 25 معمل، يليها منتجات المعادن اللافلزية الأخرى بواقع 21 معمل، ثم صناعة الاثاث 10 معامل. جدول (5).

جدول (5)

عدد و نوع الصناعات في مُحافظة أربيل لسنة 2021

نوع الصناعة	العدد
المنتجات الغذائية	25
المشروبات	9
المنسوجات	1
الورق ومنتجاته	3
الطباعة واستنساخ وسائط الاعلام المسجلة	2
فحم الكوك والمنتجات النفطية المكررة	4
المواد والمنتجات الكيميائية	3
المنتجات الصيدلانية الأساسية والمستحضرات الصيدلانية	1
منتجات المطاط واللدائن	8
منتجات المعادن اللافلزية الأخرى	21
الفلزات القاعدية	1
منتجات المعادن المركبة عدا المكائن والمعدات	6
المعدات الكهربائية	2
المركبات ذات المحركات	1
الأثاث	10
المجموع الكلي لمحافظة أربيل	97

المصدر: (هيئة إحصاء أقليم كردستان ، 2020) .

ثالثاً: النفايات الصلبة:

يتم جمع 1.33 كيلوغرام من النفايات لكل فرد يوميا في محافظة أربيل، ويُعد اعلى من المستوى العالمي (0.75 كيلوغرام لكل فرد) بمقدار 0.58 كيلوغرام لكل فرد (وزارة الإعمار والإسكان والبلديات، 2022)، أي 82012.38 طن شهرياً، و 1000550.98 طن لسنة 2023، وتُشكل نسبة 31.41% منها بقايا طعام، يليها أنواع البلاستيك بنسبة 17.14%، ثم الكارتون بنسبة 9.69%، في حين المرتبة الرابعة المواد العضوية بنسبة 7.10%. شكل (4). لا توجد لغاية الان اي معامل لإعادة تدوير النفايات او اعادة استخدامها في المُحافظة، كما ان مركز جمع وطمر النفايات هو مدينة كاني قرزهله، و تبعد عن مركز أربيل بحوالي 15 كيلومترا فقط، وتقع على مسافة 12 كم باتجاه الجنوب الغربي لمحطة عينكاوا، حيث استمرت الحرائق والدخان لعدة ايام مُسببة زيادة غاز الميثان، وتنتشر رائحة كريهة بسبب الحرائق في مكب النفايات. وقد تم انشاء 40 بئر بعمق 8–15 متر لتفادي انتشار الروائح الكريهة والحريق المفاجيء وانتشار الدخان السام في سماء المُحافظة (https://rudawrc.net، 2023)، الاستمرار بالطريقة الحالية في تغطية وطمر النفايات في التربة سوف تتسبب بانبعاث غازين سامين مسؤولين عن ارتفاع درجة الحرارة وتدهور الجو بانبعاث غاز الميثان وثاني اكسيد الكربون، حيث ان خطورة هذه النوعية من جمع النفايات والفضلات عالية جدا على بيئة المدن وترتفع خطورتها يوما بعد آخر. صورة (1).

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

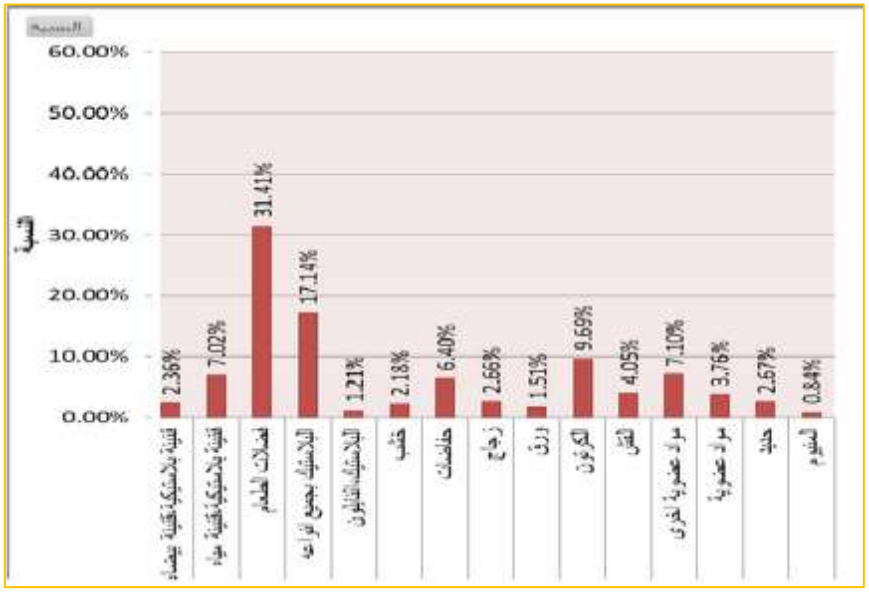
صورة (1)

مركز جمع وطمر النفايات في مدينة كاني قرزهله في مُحافظة أربيل

المصدر: (مديرية الخدمات والمحافظة على البيئة في أربيل، 21 ايلول 2023).

شكل (4)

أنواع المُخلفات الصلبة في المُحافظة



المصدر: (وزارة الإعمار والإسكان والبلديات، 2022)

رابعاً: عدد السيارات:

يُجبر معظم المواطنين على الاعتماد على مركباتهم الخاصة، نظرًا لعدم وجود خيارات نقل عام مثل الترامات ومترو الأنفاق في أربيل، مما يؤدي إلى تأثيرات سلبية على البيئة وزيادة انبعاثات الغازات الدفيئة، وقد تضاعف تقريبًا عدد السيارات المسجلة في أربيل من 458,235 سيارة في عام 2011 إلى حوالي 900,000 سيارة في عام 2020، مما يؤدي إلى استهلاك يومي للوقود يبلغ حوالي 4 ملايين لتر. وهناك سيارة لكل 3.5 فرد من السكان تقريبًا (عثمان، 2021)، وهو معدل عالي جداً.

خامساً: عدد المولدات:

توجد في المُحافظة محطة كهرباء أربيل الغازية بطاقة 1500 ميغاواط وتقع في الجهة الجنوبية من مركز مدينة اربيل على بعد 22 كيلومتر، وتم افتتاح محطة خبات البخارية في سنة 2020 وبطاقة 150 ميكاواط، و تعمل بالنفط الأسود ومخلفات المصافي. كما يوجد في أربيل 2000 مولدة، واغلبها من نوع المولدات غير الصامتة، وبعض وقود الديزل المستخدم لها عبارة عن خليط من

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

الزيت المحروق والنفط مما يُسبب زيادة إنبعاث الكبريت و الدخان (نجيب، 2024)، إذ ان المولدات الصامتة لا تعمل بالديزل الرديء و تتوقف عند إستخدام الديزل الرديء .

سادساً: قيمة *(AQI)* للمُحافظة –إستحصال البيانات:

تم رصد *AQI* في محطة عينكاوا لمُدة 553 يوم ابتداءاً من (2023/1/1 لغاية 2024/9/4) من الموقع الإلكتروني لمؤشر جودة الهواء في الوقت اليومي الفعلي (https://aqicn.org/station/@368488)، حيث تقع المحطة ضمن الاحداثيات الجغرافية *36° 14′ 04″ N - 43° 58′ 56″ E* ، وتبعد عن مطار أربيل الدولي مسافة 720 متر فقط، صورة مرئية (1).

صورة مرئية (1)

محطة عينكاوا لقياس *AQI*

المصدر: *Google Earth 2024*

سابعاً: تفسيرات خدمة التحقق من جودة البيانات لأجهزة استشعار AirNet:

يتم تعطيل المحطة تلقائيًا عندما يكون أي ما يعادل 3 أضعاف الانحراف المعياري للمحطات المجاورة في كل مرة تتجاوز قراءة المحطة بالساعة منطقة الثقة، تعتبر المحطة تنتج قراءة غير طبيعية، و كلما زاد الفرق بين القراءة بالساعة ومنطقة الثقة، زاد احتمال اعتبار المحطة تنتج بيانات غير صالحة. يتم تعريف الصيغة على النحو التالي (وزارة التغيير المناخي والبيئة، 2023) :

$$D = \sqrt{\frac{\sum_i d_i}{n}}\,,\ P = \sum_i \left(\begin{cases} 1/n & d_i > 5 \\ 0 & otherwise \end{cases}\right),\ d_i = \frac{v_i - median_i}{stddev_i}$$

W=P*D ، المسافة *D=distance* ، (الاحتمالية)*P=probability*

حيث يتم تكرار "i" خلال بيانات الأيام الثلاثة الماضية و "n"هو عدد العينات خلال تلك الأيام الثلاثة الماضية على الأرجح = n (3*24)، إذا كان*W > 30* ، فسيتم تعطيل المحطة تلقائيً، وهذا ما نراه بتعطيل قراءة المحطة لمدة 83 يوم، أو بسبب إجراءات الصيانة الدورية للمحطة لمدة يومين او ثلاثة ايام خلال شهرين .

يُبين الجدول (6) قيمة *AQI* لكل من { PM_{10}، $PM_{2.5}$، PM_1 ($\mu g/m^3$)، درجة الحرارة م°، الرطوبة النسبية%} للمُحافظة.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

جدول (6) قيمة *AQI* لكل من{ PM_{10}، $PM_{2.5}$، PM_1 ($\mu g/m^3$)، درجة الحرارة م°، الرطوبة النسبية%} للمُحافظة

اليوم	Pm2.5	Pm10	Pm1	Temp.	RH%
1/14/2023	50.1	62.05	32.1	15.5	39
1/15/2023	53.6	67.59	34.7	15.5	36
1/16/2023	60.5	75.2	39	15.5	40.5
1/17/2023	61.7	76.9	39.2	17.2	37
1/18/2023	74.8	86.45	51.1	18	34
1/19/2023	92.3	99.25	60.25	15.5	37
1/20/2023	53.7	67.59	35.2	18.3	29
1/21/2023	48.4	60.6	31.7	18.8	30
1/22/2023	33.75	40	21.1	15.8	24
1/23/2023	35.4	41.7	22.8	15.5	21
1/24/2023	33.1	37.5	20.8	14.4	19
1/25/2023	34.4	39.29	21.4	16.1	21
1/26/2023	56.3	72.3	36.15	15.5	30.5
1/27/2023	59.6	76.25	37.7	16.1	31
1/28/2023	52.45	65.4	32.79	12.7	44
1/29/2023	50.5	62.8	31.5	16.35	44
1/30/2023	59.85	74.3	37	14.4	56.5
1/31/2023	31.7	34	21.1	13.3	57
2/1/2023	39.29	47.2	24.6	14.4	53
2/2/2023	28.6	33.9	17.2	12.2	55
2/3/2023	20.5	24.1	12.5	13.8	39
2/4/2023	20.3	22	14.6	12.7	40
2/5/2023	33.1	36.7	22.3	14.4	46
2/6/2023	32	35.5	21.75	15	47
2/7/2023	37.9	54	21.6	13.8	48
2/8/2023	24.55	29.9	15.1	11.6	46
2/9/2023	42.2	49.9	27.6	10	48
2/10/2023	20.8	22.4	14.7	13.3	35.5
2/11/2023	20	21.3	13.75	12.2	31
2/12/2023	25.8	28.2	17.3	13.3	34
2/13/2023	50.2	61.9	33.45	13.55	31
2/14/2023	49.6	60.3	33.2	13.8	27
2/15/2023	40.9	49.25	26.3	13.3	25.5
2/16/2023	37.9	44.1	24.1	11.6	26
2/17/2023	27.6	30.65	18.39	11.6	23
2/18/2023	42.3	50	28.8	11.1	26
2/19/2023	53.7	66.7	36.4	16.1	28
2/20/2023	42.7	51.5	28.8	16.6	28
2/21/2023	36	42	24.2	17.2	27.5
2/22/2023	44	53.1	28.8	18.3	28
2/23/2023	42.55	51.7	28.5	20	28
2/24/2023	38.9	46.3	25.7	21.6	28
2/25/2023	41.2	48.35	26.9	21.6	29
2/26/2023	42.9	51.85	28.4	22.2	28
2/27/2023	44.6	54.5	29.3	21.6	25
2/28/2023	35.4	41.25	23.3	21.6	24
3/1/2023	39.8	48.35	26	23.55	23.5
3/2/2023	40.3	48.6	26.8	23.8	20
3/3/2023	36.8	44.1	23.7	23.8	18
3/4/2023	47.7	60.5	30.6	23.8	27
3/5/2023	40.3	49.3	25.7	24.4	22
3/6/2023	35.1	44.6	21.8	23.8	24
3/7/2023	15.6	17.1	10.8	21.9	26
3/8/2023	21.6	23.6	15.55	22.2	26
3/9/2023	43.8	52.3	29.4	18.3	41.5
3/10/2023	28.55	29.4	20.2	23.8	29.5
3/11/2023	19.6	20.7	14.7	23	26
3/12/2023	30.9	33.8	21.7	24.4	27
3/13/2023	34.9	40.5	23.5	23.3	34
3/14/2023	37.45	45	22.8	24.4	40
3/15/2023	28.25	29.6	17.25	25	46
3/16/2023	24.4	25.4	16.5	16.1	60
3/17/2023	38.7	45.9	22.45	19.4	49
3/18/2023	29	30.9	19.7	22.7	35
3/19/2023	16.3	17.25	11.7	21.6	38
3/20/2023	23.3	24.4	15.5	20	41
3/21/2023	40.79	48.5	26.5	17.45	50
3/22/2023	41.2	48.8	25.8	22.2	38
3/23/2023	63.05	71.45	43.9	23.8	36
3/24/2023	49	59	33.8	25	32
3/25/2023	26.6	28	18.5	24.4	33
3/26/2023	27.5	28.9	18.6	20	53.5
3/27/2023	27.2	28.7	17.45	19.4	60
3/28/2023	32.6	36.3	21.5	23.8	40
3/29/2023	32	35	21.4	25	40
3/30/2023	11.35	13.1	7.9	21.6	33
3/31/2023	14.8	16	10.8	13.8	47
4/3/2023	32.7	39.95	24	21.6	32
4/4/2023	41.5	49.25	28.15	23.8	32
4/5/2023	16.75	17.75	12	26.6	29
4/6/2023	11.9	13.4	8.1	25	26
4/7/2023	15.2	16.3	10.8	27.2	26.5
4/8/2023	15.7	19.1	10.19	25.5	22
4/9/2023	20.9	25.4	13.7	25.5	28
4/10/2023	13.5	16	8.6	26.6	32
4/11/2023	22.4	25.5	15	27.2	34
4/12/2023	24.2	25.7	16.14	22.2	56
4/13/2023	12.9	13.2	9.8	19.4	43
4/14/2023	15.9	16.55	11	21.1	42
4/15/2023	36.3	41.5	24.25	23	35
4/16/2023	24.8	25.9	17.39	24.4	32
4/17/2023	30.75	33.79	21.25	29.1	33
4/18/2023	29.7	33.6	21.95	30.5	27
4/19/2023	24.6	26.25	17.6	30	23
4/20/2023	22.7	24	17	28.3	31
4/21/2023	19.6	25.3	10.5	30.5	24
4/22/2023	12.2	14.05	7.2	28.8	19.5
4/23/2023	8.4	9.69	5.4	26.6	33
4/24/2023	20.7	22	14.6	22.7	52
4/25/2023	19	20.6	13.4	27.7	29
4/26/2023	15.25	16.6	11	29.7	16.5
4/27/2023	16.5	18	12.3	29.7	21
4/28/2023	14.3	15.4	10.5	30.25	20
4/29/2023	12.9	14.4	9	30.5	23
4/30/2023	8.1	9.4	5.5	28.8	16

اليوم	Pm2.5	Pm10	Pm1	Temp.	RH%
5/1/2023	10	12.2	7	26.1	18
5/2/2023	19.8	21.9	14.05	25	22
5/16/2023	9.9	10.3	7.3	31.6	11
5/17/2023	13.2	14.6	9.5	35.5	14
5/18/2023	20.6	22	15.3	37.45	8
5/19/2023	15.7	18.2	10.35	35	19
5/20/2023	11.3	13.3	7	28.3	37
5/21/2023	12.8	15	8.3	32.2	26
5/22/2023	21.2	23.4	14.5	36.1	20
5/23/2023	20.7	24.2	13.4	35	13
5/24/2023	18.5	22.95	11.3	31.6	22
5/25/2023	12.8	16.3	7.2	33.8	21
5/26/2023	16.5	21.9	9	35.5	21.5
5/27/2023	16.5	21.6	9.1	36.6	14
5/28/2023	17.9	22.6	10.7	34.4	18
5/29/2023	18.7	22.8	10.9	30	37
5/30/2023	14.1	16	9.5	34.7	19
5/31/2023	11.7	13.4	7.7	37.2	14
6/1/2023	10.9	12.35	7.1	37.7	13
6/2/2023	13.2	15.1	9.25	35.5	15
6/3/2023	16.3	20.2	10.19	38.3	13
6/4/2023	11.55	15	6.65	38.3	9
6/5/2023	13.4	15.1	9.19	38.54	11
6/6/2023	18.6	20.25	13.2	36.6	16
6/7/2023	22.8	25.2	15.9	39.4	10
6/8/2023	10.15	11.4	7.3	40.79	7
6/9/2023	8.19	9.1	6.1	40.5	7
6/10/2023	12.65	15.5	8.85	38.54	13
6/11/2023	26.2	36	12.95	39.4	12
6/12/2023	20.6	26.4	12.3	41.1	11
6/13/2023	18.3	20.8	12.7	40.5	9
6/14/2023	17.89	19.05	12.9	39.4	13
6/15/2023	21.7	23.3	15.5	40.5	11.5
6/16/2023	22.5	24.2	16.3	40	12
6/17/2023	21.45	23.4	15.8	41.6	9
6/18/2023	22.05	24.6	15.1	38.3	11
6/20/2023	17.4	21.8	11.8	38.8	11
6/21/2023	23.3	25	16.89	40	12
6/22/2023	25.4	27.3	18.2	41.6	9
6/23/2023	18.5	19.75	12.85	42.2	12
6/24/2023	26.4	27.3	19.39	41.1	9
6/25/2023	14.8	15.6	11	41.6	7
6/26/2023	15.45	16.5	11	41.9	8
6/27/2023	21.4	23	15.15	42.7	9.5
6/28/2023	21.2	22.5	15.8	44.4	9
6/29/2023	26.6	32.1	14.8	43.8	8
6/30/2023	22.8	26.3	14.5	42.2	10
7/1/2023	21.55	22.6	14.3	42.2	9
7/2/2023	19.89	21.5	13.7	43.3	8
7/3/2023	23.8	25.4	17	42.7	8
7/4/2023	32	36.7	22.6	44.1	6
7/5/2023	20.5	23.1	15.1	45	10
7/6/2023	14.85	16.7	10.5	42.45	9
7/7/2023	16.39	19.1	11.4	43.8	8
7/8/2023	17.89	19.8	12	43.3	9.5
7/9/2023	24.55	29.45	15	43.3	10.5
7/10/2023	19.8	21.05	13.3	42.7	10
7/11/2023	15.4	17.3	11.4	42.2	9
7/12/2023	14.5	15.5	10.95	42.45	8.5
7/13/2023	18.89	20.6	14.2	42.2	10
7/14/2023	15.2	16.5	11.4	46.6	9.5
7/15/2023	23.05	24.5	17.25	47.2	6
7/16/2023	20.3	24.4	12.9	45.5	5
7/17/2023	15.3	17.75	10.6	43.3	6
7/18/2023	13.7	15.3	9.6	44.1	8
7/19/2023	11.6	12.2	8.9	45.5	6
7/20/2023	22.1	22.95	16.8	43.8	5
7/21/2023	13.3	14.7	9.6	44.1	4
7/22/2023	27.55	29.3	20.1	46.6	5
7/23/2023	24.4	26.1	18.64	44.4	6
7/24/2023	28	30.2	20.6	45.5	5.5
7/25/2023	16.89	17.89	13.1	43.55	7
7/26/2023	15.75	16.7	12.2	44.7	8
7/27/2023	22	23	17.3	46.1	6
7/28/2023	23.8	28.4	16.2	45.5	7
7/29/2023	30	33.29	21.4	46.6	6
7/30/2023	24.9	28.05	16.8	43.3	7
7/31/2023	13.95	16	10.19	45.5	4
8/1/2023	23.8	24.7	18.05	43.8	8
8/2/2023	17.2	18.7	12.4	40.5	6.5
8/3/2023	20.2	21.65	15.25	42.2	4
8/4/2023	31.2	36.5	22.3	43.3	4
8/5/2023	20.7	24.2	15.2	44.4	8
8/6/2023	21.5	22.7	16.7	45.5	10
8/7/2023	28.2	30.1	20.8	45.5	9.5
8/8/2023	19.7	20.8	15.15	47.2	7
8/9/2023	22.25	23.3	17.39	47.7	7
8/10/2023	22.95	23.7	17	50	4
8/11/2023	18.25	19.6	13.7	48.3	7
8/12/2023	16.89	18.2	13.1	46.6	4
8/13/2023	20.1	21	16	46.1	3
8/14/2023	14	14.7	10.8	45.5	5
8/15/2023	13.6	15.4	10.65	45	3
8/16/2023	11.6	12.3	8.8	43.3	4
8/17/2023	23.1	24.6	17.7	44.4	5
8/18/2023	37.4	44.3	25.9	45.5	7
8/19/2023	33.9	39.04	23.3	45.5	8
8/20/2023	37.5	43.8	25.7	44.4	10
8/21/2023	31.6	35.29	22.35	47.2	8
8/22/2023	35.2	41	25.15	45.5	8
8/23/2023	40	47.8	27.1	45	9
8/24/2023	24.6	26.35	18.35	42.2	7.5
8/25/2023	29.2	32.4	20.7	41.35	8
8/26/2023	25.6	28.85	18	41.6	9
8/27/2023	18.5	19.1	13.95	43.8	11
8/28/2023	25.4	27	18.2	40.5	13
8/29/2023	25.1	27.1	17.9	38.8	16
8/30/2023	31.95	35.85	23	36.6	22
8/31/2023	31	34.2	21.9	39.4	18

اليوم	Pm2.5	Pm10	Pm1	Temp.	RH%
9/1/2023	28.9	31.2	20.2	42.2	16
9/2/2023	26.4	27.9	19.1	41.6	10
9/3/2023	23.6	26.1	16.8	42.2	13
9/4/2023	29.45	32.35	20.8	38.8	13
9/5/2023	27.45	30.5	19.5	41.1	10
9/6/2023	27	29.7	19.1	42.2	11
9/7/2023	29.6	34.5	20.2	40.5	9
9/8/2023	22.7	26.7	14.9	40	10
9/9/2023	27.4	30.2	19.5	40	16
9/10/2023	28.2	32.9	18.6	37.2	15
9/18/2023	25.4	27.65	18.6	36.1	14
9/19/2023	21.7	22.9	15.55	38.29	12
9/20/2023	25.5	27	19.2	38.79	15
9/21/2023	38.1	45.8	26.9	36.6	14
9/22/2023	30.15	33	21.1	38.29	12
9/23/2023	33.5	38.6	23.6	37.45	13
9/24/2023	40.25	48.15	28.5	37.45	13.5
9/25/2023	36	42.2	25.3	37.2	13.5
9/26/2023	31	34.15	21.9	36.6	12
9/27/2023	30.3	32.5	22	37.7	12
9/28/2023	36.29	42.4	25.6	37.2	14
9/29/2023	31.15	34.79	22.6	37.7	15
9/30/2023	28.3	35.04	15.9	33.8	21
10/1/2023	21.2	24.2	13.8	30.5	25
10/2/2023	25.3	27	18.2	32.2	32
10/3/2023	30.3	32.45	21.8	32.2	28
10/4/2023	27.4	29.5	19.5	27.2	33
10/5/2023	37.4	43.8	25.9	29.4	27
10/6/2023	27.6	29.2	19.95	29.7	21
10/7/2023	32.79	37.25	22.65	30.25	18
10/8/2023	36.35	42.6	25.4	30	17
10/9/2023	34.7	40.75	23.9	31.1	16
10/10/2023	31.9	37	21.7	30.5	27
10/11/2023	23.5	27.85	14.95	30.5	33
10/12/2023	29.1	33.1	19.2	31.1	26
10/13/2023	36.7	44.55	24.2	31.6	22
10/14/2023	42.6	52	29.8	31.35	21
10/15/2023	36.1	43.5	25	32.2	22
10/16/2023	30.8	35.2	21.2	26.6	33
10/17/2023	25.9	28.45	19	29.4	28
10/18/2023	34.35	39.85	23.4	29.7	25
10/19/2023	32.6	37.2	23	27.45	31
10/20/2023	37.9	46.15	26.4	27.7	30.5
10/21/2023	38.29	47.8	27.1	28.8	26
10/22/2023	32.1	36.6	23	28.8	26
10/23/2023	41.8	51.8	29.5	27.7	23
10/24/2023	37.85	46.8	27	28.8	25
10/25/2023	36	44	25.1	28.3	30
10/26/2023	37.2	46.4	25.8	28.3	29
10/27/2023	41	50.8	29	28.3	28
10/28/2023	48.75	62.05	34.2	29.4	30
10/29/2023	49.8	61.6	34.5	29.4	25.5
10/30/2023	46.35	58.7	32.7	28.3	25
10/31/2023	27.3	30.2	19.6	29.4	24
11/1/2023	36.04	44.2	24.2	28.8	27
11/2/2023	35.7	43.35	24	28.8	31
11/3/2023	43	53.45	28.5	24.4	57.5
11/4/2023	39.1	47.8	26.1	22.7	49
11/5/2023	49.1	61.3	34.5	23.3	40
11/6/2023	64.95	75	46.9	26.1	41
11/7/2023	56.9	69.9	40.04	26.6	43
11/8/2023	49.3	62.3	34.4	27.2	38
11/9/2023	43.3	54.25	30.2	24.4	32
11/10/2023	40.9	51.05	28.1	25	31
11/11/2023	52.7	67.3	35.7	26.6	30
11/12/2023	63.1	74	41.75	24.4	25.5
11/13/2023	68.4	77.2	47.3	26.6	32
11/14/2023	66.4	76.45	46	23.8	36.5
11/15/2023	48.1	60.6	30.3	20	58
11/16/2023	50.3	64.2	31.95	20	58
11/17/2023	80	90.8	42.9	20	63
11/18/2023	53.2	67.59	33.2	22.7	51
11/19/2023	39.4	49.5	24.7	23.3	46
11/21/2023	21.3	22.6	15.8	15	50
11/22/2023	50.45	62.6	34.5	15.5	47
11/23/2023	50.4	62.7	34.5	15	47
11/24/2023	96.15	103.65	66.4	16.35	45.5
11/25/2023	65.2	77.59	46.65	17.7	46
11/26/2023	28.1	30.95	20.2	20.5	40
11/27/2023	40.79	52.35	26.9	19.39	58
11/28/2023	23.4	26.2	16.89	15.8	44
11/29/2023	44.4	54.8	30.9	16.35	48
11/30/2023	54	68.8	37.4	16.1	49
12/1/2023	66.65	81.7	47.25	16.1	45
12/2/2023	69.75	84.4	50.6	17.45	40.5
12/3/2023	55.8	70.3	39.6	18.3	44
12/4/2023	58.7	73.9	41.35	17.2	38
12/5/2023	45.9	57.7	32.85	20	35
12/6/2023	40.2	49.95	28.5	20.5	38
12/7/2023	68.9	77.75	47.2	20	40
12/8/2023	65.4	75.65	43.45	20	42
12/9/2023	43.9	55.5	29.5	18.8	44
12/10/2023	51.4	65	34.2	20.5	47
12/11/2023	48.8	61.75	33.25	18.8	45
12/12/2023	29.7	33.7	20.6	21.1	43
12/13/2023	59.5	74.34	36.4	16.6	62
12/14/2023	74.75	87.7	44	15.5	61
12/15/2023	72.45	86.7	44.65	13.8	61
12/16/2023	67.15	81.9	46.1	13.3	58
12/17/2023	74.3	87.45	52.7	16.6	53
12/18/2023	45.5	56.25	32.9	15.5	38
12/19/2023	56.5	72.3	38.45	15	44
12/20/2023	100.2	106.8	63.65	16.6	50
12/21/2023	61.35	76.59	39.7	16.6	47
12/22/2023	59.2	75.7	36.7	16.6	59

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

اليوم	Pm2.5	Pm10	Pm1	Temp.	RH%
1/1/2024	144.5	155	94.9	15.5	52
1/2/2024	152.8	164.3	97.2	16.1	57
1/3/2024	179.65	196.2	108.4	14.4	58
1/4/2024	78.65	88.75	50	15.5	55
1/5/2024	45.3	56.8	29.1	16.1	53
1/6/2024	52.9	68.4	33.7	14.4	62
1/7/2024	54.8	69.65	38	15	48
1/8/2024	50.5	63.2	35.54	16.1	43
1/9/2024	28.6	30.8	21	17.7	37
1/10/2024	33.2	38.1	23	16.6	45
1/11/2024	51.6	65.65	34.2	16.1	52.5
1/12/2024	45.8	57.6	30	15	56
1/13/2024	44.1	54.8	28.1	13.8	66
1/14/2024	44.4	56.1	29.7	15.5	59
1/29/2024	25.1	28.5	17.4	12.7	45
1/30/2024	47	59.15	31.4	12.2	53.5
1/31/2024	47.8	60.15	31.8	12.7	51
2/1/2024	43.8	55.3	28.8	14.4	42
2/2/2024	51.2	65.09	34.1	13.55	44
2/3/2024	47.3	60	30.9	13.8	46
2/4/2024	58.5	75.34	38.5	11.6	60
2/5/2024	62.9	81.05	40.29	12.7	61
2/6/2024	53.7	69	33.5	13.8	54
2/7/2024	60.7	78	39	15	49

اليوم	Pm2.5	Pm10	Pm1	Temp.	RH%
4/1/2024	34.7	41.6	26.1	27.2	30
4/2/2024	23.1	25.4	18.1	27.7	30
4/3/2024	30	33.35	22.6	29.4	28
4/4/2024	29.9	33.4	22.3	28.3	27
4/5/2024	25.2	27	19.6	30	25
4/6/2024	20	22	15.4	29.4	25
4/7/2024	20.9	22.6	15.7	23.3	41
4/8/2024	26.4	29	19.14	24.4	40.5
4/9/2024	12.3	13.3	9	22.7	47.5
4/10/2024	9.9	11.3	7.1	23.3	48
4/11/2024	22.4	24.3	15	23.8	43
4/12/2024	14.3	15	9.6	26.1	37
4/13/2024	20.1	21.4	14.65	25	34
4/14/2024	26.65	29.3	19.7	26.1	31
4/15/2024	29.7	38.3	20.75	26.6	38
4/16/2024	13.4	15.2	10.35	30.5	30.5
4/18/2024	34.1	39	25.65	30.5	25.5
4/19/2024	36.29	44.3	27	32.7	27
4/20/2024	29.3	34	21.2	32.2	25
4/21/2024	14.75	16.9	10.85	27.2	39
4/22/2024	20.7	23.5	15.5	28.8	31
4/23/2024	26.5	29.85	19.8	30	30
4/24/2024	16	17.7	12.4	32.2	23
4/25/2024	22.35	25.2	18.2	32.2	23.5
4/26/2024	19.7	21.6	13.7	33.8	26
4/27/2024	18.3	24.8	12.5	33.3	20
4/28/2024	10.1	13.1	6.9	33.8	12.5
4/29/2024	34.9	47.9	22	35.5	21
4/30/2024	33.9	42.2	23.1	28.8	37
5/1/2024	23.4	26.2	16.7	27.7	50
5/2/2024	29.7	33.45	19.9	27.7	49
5/5/2024	11.2	12.7	8	30	27
5/6/2024	10.2	11.4	7.5	22.2	49
5/7/2024	9.9	10.25	7.5	21.6	45
5/8/2024	19.4	20.2	14.6	26.1	35
5/9/2024	29	31.05	21	29.4	32
5/10/2024	18.6	19.75	14.45	30.5	28
5/11/2024	9.3	10.6	6.9	31.1	25
5/12/2024	14.2	19.1	9.1	33.8	21
5/13/2024	9.4	12.4	6.1	29.4	29
5/14/2024	10.8	12.7	7.7	28.55	28.5
5/15/2024	14.1	15.8	10.7	29.1	25
5/16/2024	17.14	18	13.6	30.5	28
5/17/2024	10.25	10.7	8.1	31.1	21
5/18/2024	13	14	9.8	31.6	20
5/19/2024	44.4	55.2	32	30.8	27.5
5/20/2024	18.89	22.3	13.7	35	23
5/21/2024	18.55	21.7	13.8	33.8	26
5/22/2024	14.3	15.8	11.3	30	36
5/23/2024	15	16.05	11.9	35.5	26.5
5/24/2024	16.3	18.39	12.3	38	20
5/25/2024	11.7	15.8	7.6	34.4	19
5/26/2024	10.5	12.6	7.6	35.5	19
5/27/2024	17.5	19.5	13.7	36.1	18
5/28/2024	17.2	20.3	12.8	38.3	17
5/29/2024	8.6	11.7	5.3	37.2	17
5/30/2024	14.9	18.5	10.6	40	16
5/31/2024	16.5	18.2	13.15	36.6	17
6/1/2024	15.3	16.7	12	38.3	16
6/2/2024	25.5	27.6	19.6	38.8	14

المصدر: الباحثة من خلال الموقع الالكتروني : https://aqicn.org/station/@368488/

ثامناً: العوامل المناخية المؤثرة لتلوث الهواء: للعوامل المُناخية تأثير على تلوث الهواء وكما يلي:

- **درجة الحرارة :**

تُعد درجة الحرارة من أبرز عناصر المناخ وأهمها بسبب تأثيرها المباشر على عناصر المناخ الاخرى مثل الضغط والرياح والامطار والتبخر (البياتي، 1990). العلاقة بين درجات الحرارة وتلوث الهواء أكثر تعقيدًا وتتداخل مع عدة عوامل، منها طبيعة الملوثات، حركة الهواء، والأنشطة البشري وكما يلي:

1. الارتفاع الكبير في درجات الحرارة والتفاعلات الكيميائية الجوية: خلال فترات الحرارة الشديدة، تزداد سرعة التفاعلات الكيميائية بين الملوثات مثل أكاسيد النيتروجين (NOx) والمركبات العضوية المتطايرة .(VOCs) هذه التفاعلات تُنتج الأوزون الأرضي (موسى، 1999). وهو ملوث خطير عند مستوى سطح الأرض، يسبب تهيج الجهاز التنفسي ويفاقم مشكلات مثل الربو والحساسية. على الرغم من أن الأوزون في الطبقات العليا من الغلاف الجوي يحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية، إلا أنه في الطبقات الدنيا يعتبر مضرًا بالصحة.

2. الانعكاس الحراري: ظاهرة تحدث عندما تكون طبقة الهواء الباردة محصورة تحت طبقة من الهواء الدافئ. هذا يعيق صعود الهواء البارد الملوث ويؤدي إلى تراكم الملوثات قرب سطح الأرض. غالبًا ما يحدث الانعكاس الحراري خلال فترات الصباح الباكر في الأيام

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

الباردة، ويظل الهواء محبوسًا حتى يحدث تغير في الطقس. هذه الظاهرة تزيد من تركيز الملوثات في المناطق الحضرية، وخاصة الجسيمات المعلقة PM2.5 و PM10) (Sart, 2015).

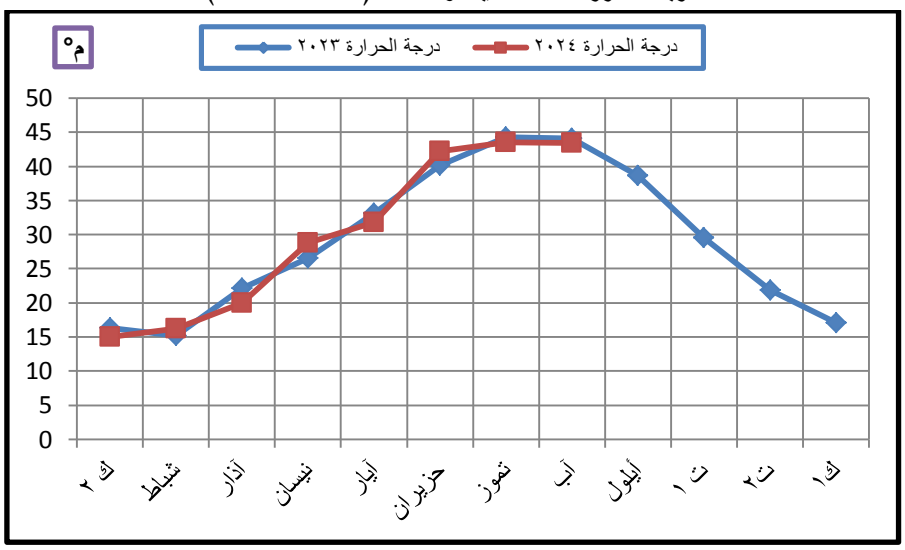
3. درجات الحرارة المنخفضة وزيادة انبعاثات الاحتراق: في فصل الشتاء، تتزايد انبعاثات الملوثات نتيجة زيادة الطلب على التدفئة، سواء من حرق الوقود الأحفوري في المنازل أو من توليد الكهرباء. هذه الانبعاثات تضيف ملوثات مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والجسيمات الدقيقة، مما يزيد من تلوث الهواء.

4. ظواهر الطقس الحادة المرتبطة بالحرارة: موجات الحر الطويلة تزيد من تراكم الملوثات في الهواء نتيجة عدم وجود تيارات هوائية تساعد على تشتتها.

سُجلت أعلى درجة الحرارة في شهر تموز (44.24 م°، 43.49 م°) للسنتين (2023، 2024) على الترتيب، في حين أدنى درجة للحرارة سُجلت في شهر شباط لسنة 2023 وبلغت 15.19 م°، ولسنة 2024 في شهر كانون الثاني 15.02 م°. شكل (5).

شكل (5)

درجة الحرارة لمحطة عينكاوا للمُدة (2023-2024)



المصدر: بيانات جدول (6).

- **الرطوبة النسبية % :**

تُعبر عن النسبة المئوية لما موجود فعلا من بخار الماء في الهواء إلى أكبر كمية يستطيع الهواء حمله تحت درجة الحرارة والضغط العالي أنفسهما تعد العلاقة عكسية بين الرطوبة ودرجة الحرارة في حين تكون طردية بين الرطوبة والأمطار (عادل سعيد الراوي، 1990)، العلاقة بين الرطوبة النسبية وتلوث الهواء تعتمد بشكل كبير على نوع الملوثات والظروف الجوية الأخرى، وقد تؤدي دورًا في تخفيف أو زيادة حدة تلوث الهواء حسب الظروف المحيطة ونوع الملوثات (حسين، 2020) :

1. تأثير الرطوبة العالية على الملوثات الكيميائية :الرطوبة العالية قد تعزز تفاعلات كيميائية في الهواء تؤدي إلى تكوين ملوثات ثانوية. على سبيل المثال، وجود أكاسيد النيتروجين (NO_x) وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) مع الرطوبة يمكن أن يشكل حمض الكبريتيك أو حمض النيتريك، مما يؤدي إلى هطول الأمطار الحامضية. هذا قد يقلل من تلوث الهواء مؤقتًا، لكن تأثيره السلبي يظهر في التربة والمسطحات المائية.

2. تأثير الرطوبة على الجسيمات المعلقة :(PM) الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$ و PM_{10} تميل إلى امتصاص الرطوبة، مما يزيد من حجمها وقدرتها على التفاعل مع الملوثات الأخرى. يمكن للرطوبة العالية أن تجعل هذه الجسيمات أثقل وتسقط على الأرض، لكنها في نفس الوقت تزيد من تأثيراتها الصحية عندما تبقى في الهواء.

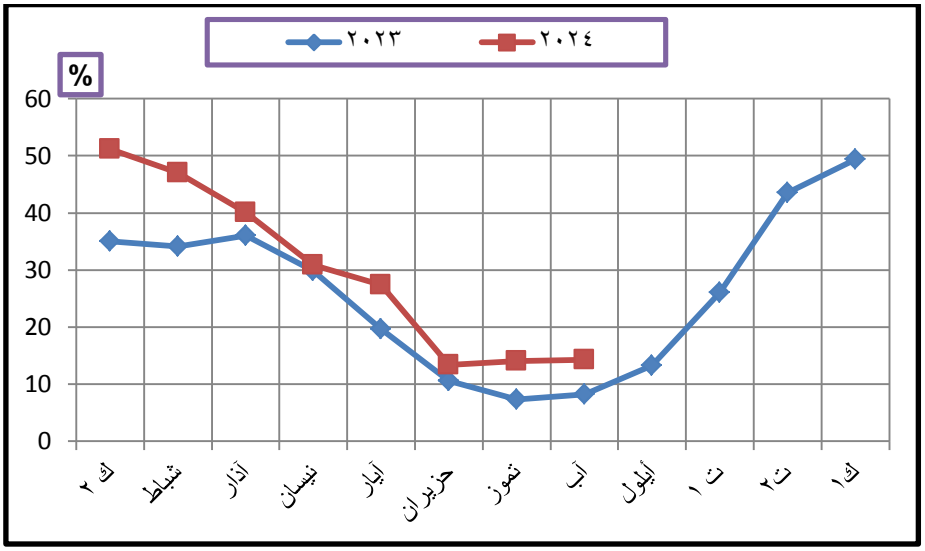
3. تأثير الرطوبة المنخفضة : تكون الملوثات مثل الأوزون الأرضي (O_3) والجسيمات الدقيقة (PM) أكثر تركيزًا في الأماكن الجافة، إذ أن قلة الرطوبة تمنع ترسب هذه الجسيمات، مما يعني أن الهواء يبقى ملوثًا لفترات أطول. إضافة إلى ذلك، الجفاف يزيد من احتمالية انتشار الغبار والملوثات الأخرى.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

تتباين المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية لمنطقة الدراسة، إذ تنخفض صيفاً تزامناً مع ارتفاع معدلات درجات الحرارة، وترتفع شتاءاً مع انخفاض معدلات درجات الحرارة. الرطوبة النسبية لسنة 2024 أعلى منها لسنة 2023، حيث سجلت أعلى رطوبة نسبية لسنة 2023 في شهر كانون الاول 49.40%، ولسنة 2024 في شهر كانون الثاني 51.14%، بسبب انخفاض درجات الحرارة ووصول الكتل الهوائية البحرية. ثم تبدأ المعدلات بالتناقص في فصل الربيع مع بدء ارتفاع درجات الحرارة، ووصول الكتل الهوائية المدارية القارية لتصل أدنى معدلاتها في أشهر الصيف، لا سيما شهر تموز الذي بلغت فيه أدنى المعدلات لسنة 2023 سُجلت 7.31%، ولسنة 2024 في شهر تموز ايضاً 14.02%. شكل (6).

شكل (6)

الرطوبة النسبية % لمحطة عينكاوا للمُدة (2023-2024)



المصدر: بيانات جدول (6).

- **اتجاه وسرعة الرياح:**

يُشير اتجاه الرياح إلى الجهة التي تأتي منها الرياح، و يُحدد اتجاهه في محطة الارصاد الجوية او عند تبادل بياناتها بين المحطات المُختلفة بوحدة (درجة)، ويتم تحديد الاتجاه بالدرجات التي ينقسم اليها مُحيط الدائرة بين (0-360 درجة)، حيث يُمثل درجة صفر اتجاه الشمال، ومتجهة مع إتجاه عقارب الساعة وتنحصر الاتجاهات في ثمانية اتجاهات فقط، يفصل بين كل اتجاه والاتجاه الذي يليه (45 درجة)، جدول (7)، شكل (7)، وهي تُمثل الاتجاهات (الشمال، الشمال الشرقي، الشرق، الجنوب الشرقي، الجنوب، الجنوب الغربي، الغرب، الشمال الغربي). جدول (8).

جدول (7)

أتجاه الرياح (درجة) لمنطقة الدراسة للمُدة (2023-2024)

الشهر	ك 2	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت 1	ت2	ك1
2023	91.62	100	163	272.88	275.5	283.5	291.69	305.31	280.31	5.75	53.25	123.38
2024	120.62	93.75	219.38	209.31	291.12	276.56	298.69	287.5	-	-	-	-

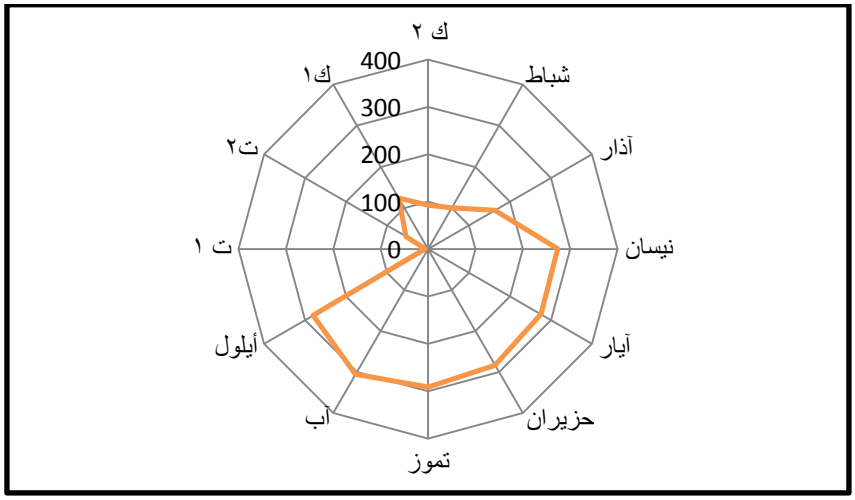
الباحثة إعتماداً على بيانات قاعدة البيانات المناخية الشبكية التابعة لوكالة ناسا لعلوم الفضاء *NASA*.

https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

شكل (7)

أتجاه الرياح (درجة) لمنطقة الدراسة للمُدة (2023-2024)



المصدر: بيانات جدول (7).

جدول (8)

أتجاه الرياح الجغرافي لمنطقة الدراسة للمُدة (2023-2024)

الشهر	ك 2	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت 1	ت2	ك1
2023	شرق	شرق	جنوب شرقي	غرب	غرب	غرب	غرب	غرب	غرب	شمال	شمال شرق	شرق
2024	شرق	شرق	جنوب	جنوب	غرب	غرب	غرب	غرب	-	-	-	-

المصدر: بيانات جدول (7).

اتجاه الرياح وسرعتها عاملان حاسمان في تحديد كيفية انتشار أو تركيز الملوثات الهوائية. ويمكن أن تعمل كعامل إيجابي في تحسين جودة الهواء من خلال تشتت الملوثات، أو كعامل سلبي عبر نقل الملوثات إلى مناطق جديدة أو تركيزها في أماكن معينة. لهذا السبب، و تعتبر الرياح القوية والعالية السرعة مسؤولة عن نقل الملوثات عبر مسافات كبيرة، وتصل أحيانًا إلى مئات أو حتى آلاف الكيلومترات، و يمكن لها أن تنقل الملوثات الناتجة عن عوادم السيارات والانبعاثات الصناعية بعيدًا عن المركز الحضري، مما يقلل من تلوث الهواء المحلي. لكن إذا كانت الرياح تهب من مناطق صناعية باتجاه المدن، فقد تؤدي إلى ارتفاع مستويات التلوث في المناطق الحضرية.

اتجاه الرياح السائدة في منطقة الدراسة (غربي) فهي ابتدأ من شهر نيسان لغاية شهر أيلول، وذلك سبب هبوبها يعود الى وجود مركز للضغط العالي فوق المناطق الجبلية التركية والتي يقابلها مركز للضغط المنخفض فوق منطقة الخليج العربي في فصل الصيف، في حين في فصل الشتاء يكون هبوبها متقطع نتيجة لمرور الاعاصير القادمة من البحر المتوسط (الرازي، 1979)، للأشهر (كانون الاول والثاني، وشباط) تكون (شرقية)، بمعنى اخر أتجاه الرياح لمنطقة الدراسة مصدرها مدينة أربيل في فصل الشتاء، في حين تتفاوت لبقية الاشهر.

أما أعلى سرعة الرياح فقد سُجلت في شهر حزيران للمُدة (2023-2024) وبلغت (3.69 ، 3.6) م/ثاعلى الترتيب، وادناها سُجلت في شهر شباط لسنة 2023 وبلغت 2.55 م/ثا، ولسنة 2024 في شهر كانون الثاني 2.61 م/ثا، و تعتبر الرياح القوية والعالية السرعة في هذا الشهر تحديداً مسؤولة عن نقل الملوثات عبر مسافات كبيرة وبالتالي زيادة المُلوثات في منطقة الدراسة، جدول (9).شكل (8).

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

جدول (9)

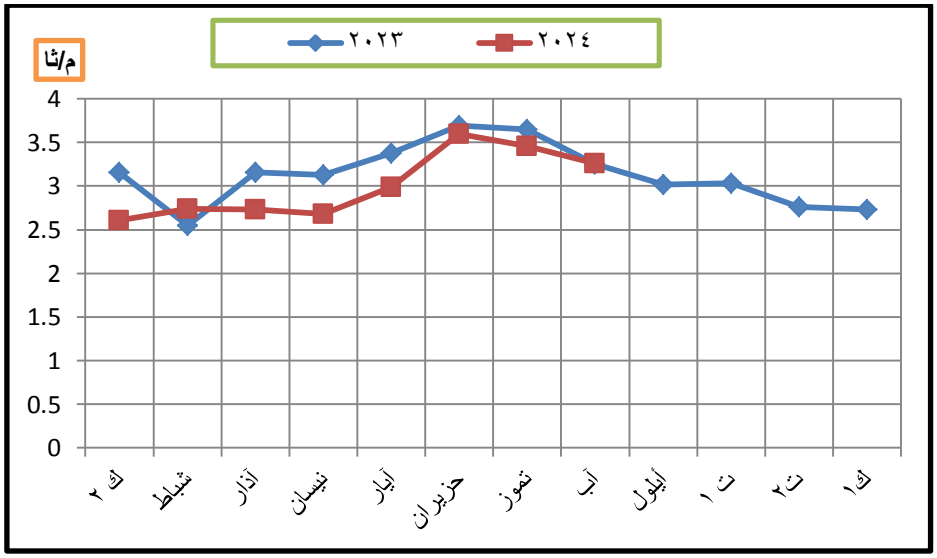
سرعة الرياح (م/ثا) لمنطقة الدراسة للمُدة (2023-2024)

الشهر	ك 2	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت 1	ت2	ك1
2023	3.16	2.55	3.16	3.13	3.38	3.69	3.65	3.25	3.02	3.03	2.76	2.73
2024	2.61	2.74	2.73	2.68	2.99	3.6	3.46	3.26	-	-	-	-

المصدر: الباحثة من خلال بيانات موقع ناسا **للمُناخ** https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

شكل (8)

سرعة الرياح (م/ثا) لمنطقة الدراسة للمُدة (2023-2024)



المصدر: بيانات جدول (9).

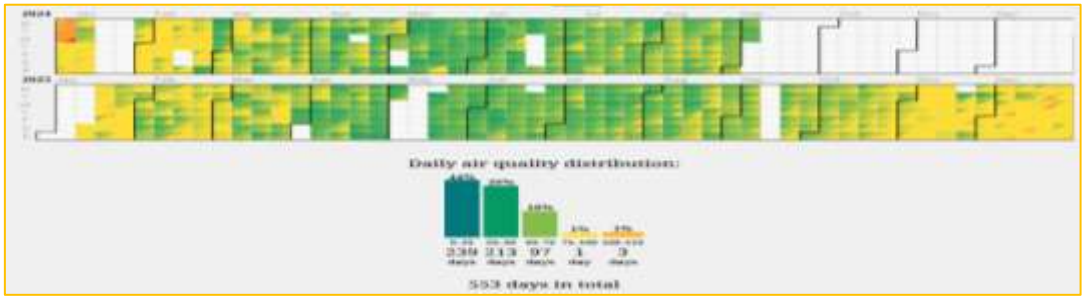
تباينت قيمة المؤشر AQI للمُحافظة، لمستوى تلوث الهواء المُقابل للجُسيمات الخشنة و الدقيقة و فائقة الدقة للقيمة المُقابلة لها وذلك عند مُقارنتها مع جدول (3) وكالاتي:

1- قيمة المؤشر PM_{10} الجسيمات الخشنة: تباينت القيم لمستوى التلوث بالجُسيمات الخشنة، حيث سجل 549 يوم ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي)، وضمن قيمة المؤشر AQI (0-75)، ما يُمثل نسبة 98%، وتذبذبت ضمن المستويات الثلاثة ضمن نفس الفئة وذلك 44% ما تُمثل 239 يوم ضمن فئة AQI (0-25)، و213 يوم وتُشكل 39% ضمن فئة (25-50)، في حين 97 يوم ضمن فئة (50-75) وتُمثل نسبة 18%، ويوم واحد فقط ضمن المستوى الثاني(مقبول) ويُمثل 1% فقط، ضمن فئة AQI (76-100)، وثلاثة أيام ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة) ضمن فئة AQI (101-150)، وذلك بالأيام (1-2-3 /1/ 2024)، وذلك بسبب زيادة الرطوبة في شهر كانون الثاني، إذ يؤدي تفاعل بخار الماء مع الغازات مثل (ثاني أوكسيد النتروجين وأكاسيد الكبريت) وبالتالي تتكون الحوامض التي تجعل من مياه الأمطار حامضية تؤثر على عناصر البيئة، وتعمل الرطوبة النسبية في الهواء على امتصاص الملوثات وبالتالي التقليل من نشرها في الهواء، كما انها تعمل على تحويل عدد من الغازات مثل ثاني أوكسيد الكبريت (So_2) إلى حامض الكبريتيك ($HS0_4$) والذي له دور فعال في تكوين الأمطار الحامضية، فضلاً عن إتجاه وسرعة الرياح في هذا الشهر تحديداً. شكل (9).

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

شكل (9)

قيمة PM_{10} الجسيمات الخشنة $(\mu g/m^3)$ لمدة 553 يوم من المدة (2023-2024)

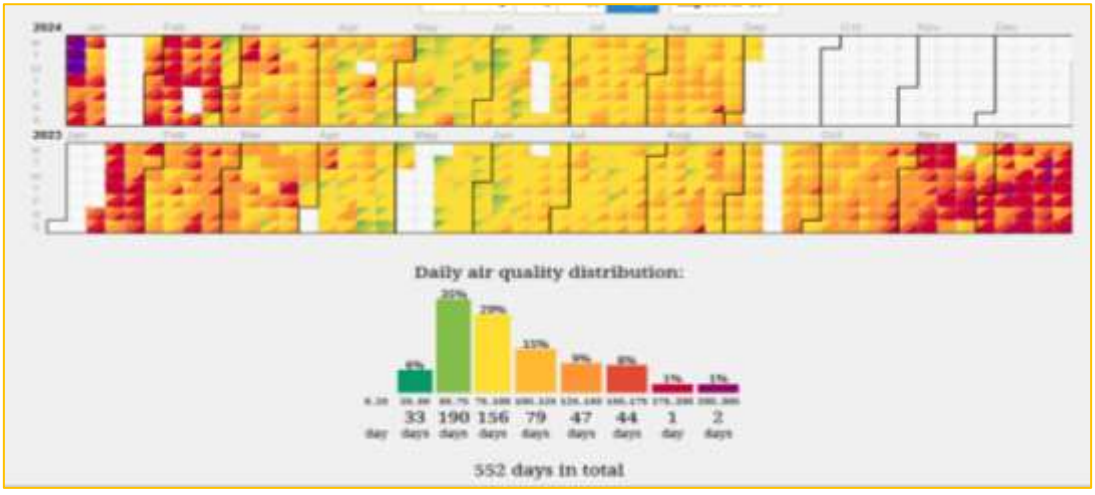


المصدر: بيانات جدول (6).

2- قيمة المؤشر $PM_{2.5}$ الجسيمات الدقيقة : تباينت القيم لمستوى التلوث بالجُسيمات الدقيقة لمنطقة الدراسة، إذ سجل 223 يوم ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي)، وضمن قيمة المؤشر AQI (0-75)، ما يُمثل نسبة 41%، وتذبذبت ضمن المستوى لنفس الفئة وذلك 35% ما تُمثل 190 يوم ضمن فئة AQI (50-75)، و33 يوم وتُشكل 6% ضمن فئة (25-50)، في حين 156 يوم ضمن المستوى الثاني(مقبول) ويُمثل نسبة 29% وتقع ضمن فئة (76-100)، و126 يوم ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة) وتُشكل 24% من مجموع ايام الدراسة، ويقع ضمن فئة AQI (101-150)، وينقسم ضمن هذه الفئة 79 يوم ضمن الفئة (100-125) وتُمثل نسبة 15% من أصل 24%، في حين 47 يوم ضمن فئة (125-150) وتُشكل نسبة 9% من أصل 24 % ضمن الفئة نفسها، أما المستوى الرابع للتلوث (غير صحي) فقد تم تسجيل 45 يوم وبواقع 9%، وضمن الفئة (151-200)، النسبة الاعظم 44 يوم منها ضمن فئة (150-175)، ويوم واحد فقط ضمن فئة (175-200). ويوجد يومان فقط ضمن المستوى الخامس للتلوث (الضار)، لليومين (3-2024/1/4)، وضمن الفئة (201-300)، وتُمثل 1% فقط من مجموع أيام الدراسة. وذلك لتأثرها بملوثات الهواء للمدينة والعوامل الجغرافية. شكل (10).

شكل (10)

قيمة $PM_{2.5}$ الجسيمات الدقيقة$(\mu g/m^3)$ لمدة 552 يوم من المدة (2023-2024)



المصدر: بيانات جدول (6).

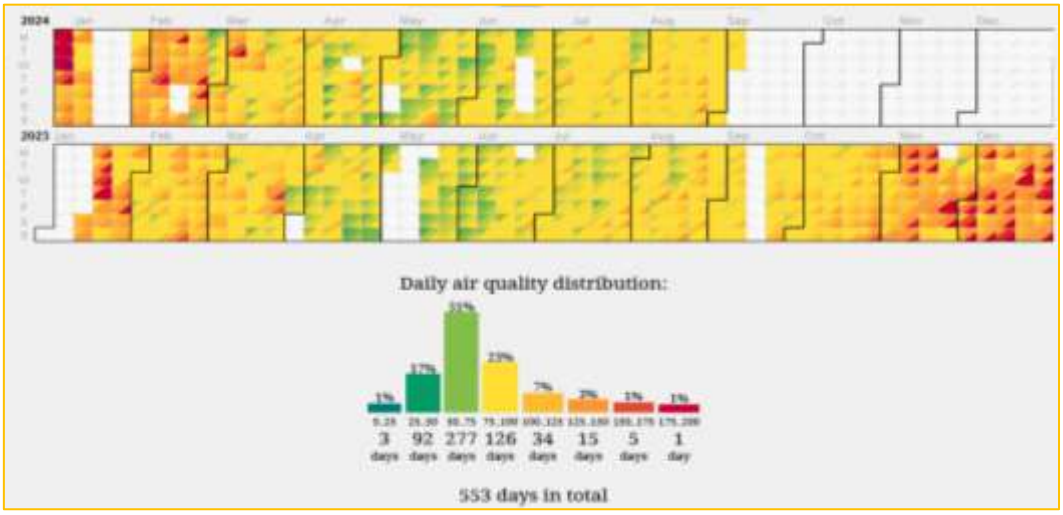
3-قيمة المؤشر PM_1 الجسيمات فائقة الدقة : تباينت القيم لمستوى التلوث بالجُسيمات فائقة الدقة إذ سجل 372 يوم ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي)، وضمن قيمة المؤشر AQI (0-75)، ما يُمثل نسبة 69%، وتذبذبت ضمن المستوى لنفس الفئة وذلك ثلاثة ايام منها وتُمثل نسبة1% يوم ضمن أدنى فئة AQI (0-25)، و92 يوم وتُشكل 17% ضمن فئة (25-50)، في حين 277 يوم ضمن فئة (50-75)، أما المستوى الثاني للتلوث (مقبول) فقد سجل 126 يوم ويُمثل نسبة 23% وتقع ضمن فئة (75-100)، و49 يوم ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة) وتُشكل 10% من مجموع ايام الدراسة، ويقع ضمن فئة AQI (100-150)، وينقسم ضمن هذه الفئة 34 يوم ضمن الفئة (100-125) وتُمثل نسبة 7% في حين 15 يوم ضمن فئة

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

(125–150) وتُشكل نسبة 3% من أصل 10 % ضمن الفئة نفسها، أما المستوى الرابع للتلوث (غير صحي) فقد تم تسجيل 6أيام فقط وبواقع 2%، وضمن الفئة (151–200)، النسبة الاعظم 5 أيام منها ضمن فئة (150–175)، ويوم واحد فقط ضمن فئة (175–200) وذلك يوم 2024/1/3، ويُمثل 1% فقط من مجموع أيام الدراسة. شكل (11).

شكل (11)

قيمة PM_1 الجسيمات الدقيقة($\mu g/m^3$) لمدة 553 يوم من المُدة (2023–2024)



المصدر: بيانات جدول (6).

الاستنتاجات

1- يتم جمع 1.33 كيلوغرام من النفايات لكل فرد يوميا في محافظة أربيل، و يُعد اعلى من المستوى العالمي (0.75 كيلوغرام لكل فرد) بمقدار 0.58 كيلوغرام لكل فرد. أي 82012.38 طن شهرياً، و 1000550.98 طن لسنة 2023.

2- تباينت قيمة المؤشر PM_{10} الجسيمات الخشنة حيث سجل 549 يوم ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي)، ويُمثل نسبة 98%، وتذبذبت ضمن المستويات الثلاثة ضمن نفس الفئة ويوم واحد فقط ضمن المستوى الثاني(مقبول) ويُمثل 1% فقط، وثلاثة أيام ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة) وذلك بالأيام (1-2-3 /2024/1).

3- تباينت قيمة المؤشر $PM_{2.5}$ *الجسيمات* و سجل 223 يوم ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي)، ويُمثل نسبة 41%، و 29% ضمن فئة (مقبول) و 24% ضمن (غير صحي للفئة الحساسة) وضمن (غير صحي) بواقع 9%، و المستوى (الضار) سجل 1% فقط.

4- سجل 372 يوم وبنسبة 69% ضمن مستوى تلوث الهواء الاول (صحي) لقيمة المؤشر PM_1 الجسيمات فائقة الدقة، و 23% ضمن فئة (مقبول)، و49 يوم ضمن المستوى الثالث (غير صحي للفئة الحساسة) وتُشكل 10% من مجموع ايام الدراسة، اما المستوى الرابع للتلوث (غير صحي) فقد تم تسجيل ستة أيام فقط وبواقع 2%.

5- للعوامل الجغرافية ومُخلفات التشغيل للمولدات الكهربائية والسيارات و حرق النفايات دور كبير في زيادة نسبة ملوثات مدينة أربيل.

المُقترحات:

1- يُفضل التحول إلى وسائط النقل المستدامة وذلك بزيادة استخدام السيارات الكهربائية وتطوير نظم النقل العام.

2- ينبغي استخدام الطاقة المتجددة وتقليل استخدام الوقود الأحفوري في توليد الكهرباء واستخدام الطاقة الشمسية والرياح كبدائل.

3- زيادة المساحات الخضراء والأشجار داخل المدن وخارجها يُساعد في تحسين جودة الهواء وتقليل تركيز الجسيمات الضارة.

4- العمل بسياسات بيئية صارمة من خلال فرض قوانين على مُخلفات المصانع وتقليل الانبعاثات.

5- ضرورة جمع النفايات بشكل منفصل يمكن اعادة تدوير اكثر من نصفها. فضلاً عن إنشاء معامل اعادة تدوير للاستفادة منها بشكل مباشر مثل جمع الكرتون والورق والمواد البلاستيكية.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

6- إلزام أصحاب المركبات والمولدات كافة بوجود حجر البيئة لتنظيف الدخان المتولد منها، فضلاً عن إتباع وسائل و تقنيات صديقة للبيئة التي تقلل من انبعاث عوادم سامة او مضرة للبيئة مثل نصب فلاتر خاصة على عوادم وحدات الانتاج داخل المحطة.

7- استخدام المولدات الصامتة بدل المولدات غير الصامتة المنشرة في المُحافظة بشكل تدريجي من خلال تزويدها بحصة وقود مدعومة.

المراجع

World Health Organization .(2017) .*GUIDANCE FOR SETTING AIR QUALITY STANDARDS*. .

Human Rights Council .(2019) . .*Issue of human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment. United Nations General Assembly, A/HRC/40/55, p. 20.*

هيئة إحصاء أقليم كردستان . (2020). *قسم احصائيات الصناعية*.

الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية. (2022). *دليل رصد جودة الهواء وإدارة البيانات لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، الرياض، المملكة العربية السعودية*.

وزارة الإعمار والإسكان والبلديات. (2022). *وكالة التعاون الدولي اليابانية ، شركة ياتشيو الهندسية المحدودة، دراسة جمع البيانات حول إدارة النفايات الصلبة في العراق، أمانة بغداد ومدينة البصرة ومدينة أربيل*.

وزارة الموارد المائية. (2022). *دائرة التخطيط والمتابعة، قسم المساحة، خريطة أربيل الادارية*.

وزارة التغيير المناخي والبيئة. (2023). *الدليل الإماراتي الإرشادي لحساب مؤشر جودة الهواءEAQI*.

وزارة التخطيط. (2023). *هيئة احصاء إقليم كوردستان*.

وزارة التغيير المناخي والبيئة. (2023). *لدليل الإماراتي الإرشادي لحساب مؤشر جودة الهواءEAQI ،*.

وزارة التخطيط. (2024). *هيئة إحصاء اقليم كوردستان، احصائيات الطقس والمناخ للمُدة (2012-2023)*.

Department for Environment Food & Rural Affairs .(2019) .*EU Standard Methods for monitoring and UK Approach. Retrieved from Department for Environment Food & Rural Affairs: https://uk-air.defra. gov.uk/networks/monitoring-methods.*

Elena Sart .(2015) .The composition of PM1 and PM2.5 samples, metals and their water soluble fractions in the Bologna area (Italy .(*Atmospheric Pollution Research, 6.*

https://aqicn.org/station/@368488.(بلا تاريخ) .

https://rudawrc.net *تقرير منشور بتاريخ (2023/10/2) بمجلة* .(2023) .*https://rudawrc.net/ar/article/txyr-almnax-fy-aqlym-kwrdstan-walraq-karth-cm-wtxty-alqmam-2023-10-02* .

Naddafi Khazaei .(2021) .Air Pollution Quality Index (AQI) and Density of PM1, PM2.5 and PM10 in the Air of Qom . ،*Qom University of Medical Sciences,Vol. 5, no. 2*.،

NM Wambebe .(2020) .Air Quality Levels and Health Risk Assessment of Nathaniel Mopa Wambebe, Particulate Matters in Abuja Municipal Area, Nigeria, Atmosphere ؛*817* ،*11* . . *doi:10.3390/atmos11080817.*

Ranja Ravi .(2022) .Exploring the trends of breathlessness and mortality in conjunction with AQI in India's coal capital, Dhanbad, Indian .*Journal of Community Health, 35(4):417-423. http://dx.doi.org/10.47203/IJCH.2023.v35i04.006.*

T. K. Boguski .(2006) .*Understanding Units of Measurement. Environmental Science and Technology Briefs for Citizens, Center for Hazardous Substance Research, Manhattan.*

World Health Organization WHO .(2005) .Air quality guidelines for particulate matter, ozone,nitrogen dioxide and sulfur dioxide; Summary of Risk Assessments.

World HealthOrganization .(2021) .*Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva : ; 2021 (https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329.(*

 DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900

إيمان محمد حسن أحمد. (2022). الخصائص الهيدرولوجية لترب حوض أربيل. *جامعة الموصل، كلية التربية للعلوم الانسانية، رسالة ماجستير، غ.م.* .

خطاب صكار العاني ،نور خليل الرازي. (1979). *جغرافية العراق* . بغداد: مطبعة جامعة بغداد، ط1.

رجاء كاظم مطر. (2024). التحليل المكاني لتلوث هواء مُحافظة كركوك دراسة مُقارنة (2019–2021). *مجلة كلية التربية الاساسية، المجلد 30، العدد 123.*

صابر پيرداود عثمان. (2021). تقدير دالة الطلب على السيارات الخصوصية في محافظة أربيل أنموذج. *مجلة تكريت للعلوم الإدارية والاقتصادية،المجلد 17، العدد 56.*

صالح نجيب. (2024). قسم الموارد الطبيعية بكلية علوم جامعة السليمانية، لقاء صحفي بمجلة رووداو ديجيتال، (2024/2/12) منشور بالموقع الالكتروني https://www.rudawarabia.net/arabic/kurdistan/120220241 .

صباح محمود الراوي ، عدنان هزاع البياتي. (1990). *اسس علم المناخ.* الموصل: ط1، جامعة الموصل، دار الكتب للطباعة والنشر.

عادل الشيخ حسين. (2020). *البيئة مُشكلات وحلول.* عمان، الاردن: دار اليازوري للنشر، ط1.

علي حسن موسى. (1999). *الأوزون الجوي.* دمشق، سوريا، ط1: دار الفكر للتوزيع.

قصي عبد المجيد السامرائي عادل سعيد الراوي. (1990). *المناخ التطبيقي.* بغداد: دار الحكمة، ط1.

هاشم خضر الجنابي. (1987). مدينة أربيل دراسة في جغرافية الحضر. *مديرية دار الكتب للطباعة و النشر جامعة الموصل.*

هاشم محمد صالح. (2012). *تلوث الهواء.* مكتبة المجتمع العربي للنشر، ط1، عمان، الاردن.

DOI: https://doi.org/10.47831/mjh.v3i1.900