

المراقبة الحيوية لبعض الأشجار باستخدام مؤشري تحمل تلوث الهواء والأداء المتوقع في براك الشاطي، ليبيا

فاضل محمد بن يحمى^{1*} امباركة محمد فضل نورالدين²

ARTICLE INFO

Vol. 8 No. 1 April, 2026

Pages (A49 - 57)

Article history:

Revised form 09 March 2026
Accepted 30 March 2026

Authors affiliation

1. Environmental Science Department,
Faculty of Environment and Natural
Resources, Wadi Alshatti University,
Libya

2. Biotechnology Department, Faculty
of Science, Wadi Alshatti University,
Libya

* f.binyehmed@wau.edu.ly

Keywords:

Biomonitoring; sensitivity;
tolerance; Anticipated
performance; trees; air
pollutants

© 2026

Content on this article is an open
access licensed under creative
commons CC BY-NC 4.0.



المخلص

يُعدّ تقييم مؤشر تحمل تلوث الهواء (APT) ومؤشر الأداء المتوقع (API) للأشجار ذا أهمية بالغة نظراً لتزايد خطورة تلوث الهواء على البيئة. ومن الجدير بالذكر أن الأنواع النباتية المختلفة تتفاعل وتتكيف بشكل متباين مع ملوثات الهواء تبعاً للظروف البيئية في موقع زراعتها، لذلك يمكن استخدام أنواع النباتات كمراقبات حيوية Bio-monitors هامة لتلوث الهواء. لذا، كانت هذه الدراسة مفيدة لرصد جودة الهواء وتحديد أنواع النباتات الحساسة والمتحملة المناسبة التي يمكن زراعتها للسيطرة على تلوث الهواء أو استخدامها كمراقب حيوي، مما قد يُشكّل آلية هامة للحد من تلوث الهواء في البيئات الملوثة المختلفة. أجريت هذه الدراسة على أشجار التيكوما والدفلة والسدر في منطقتين في براك الشاطي؛ هما موقع الجامعة ومنطقة أشكدة، حيث تم تقدير مؤشر تحمل هذه النباتات الملوثات الهواء من خلال تحليل أربع معلمات هي الأس الهيدروجيني لمستخلص الأوراق، المحتوى المائي النسبي، الكلوروفيل الكلي وتركيز حمض الاسكوربيك، إضافة إلى تقييم مؤشر الأداء المتوقع. كشفت نتائج الدراسة أن تحملية الأشجار قيد الدراسة قد تراوحت بين متوسط التحمل متوسط التحمل Immediately Tolerant إلى متحملة Tolerant. وأثبتت النتائج أن شجرة السدر كانت أفضل الأشجار المتحملة للملوثات الهواء في كلا موقعي الدراسة، بينما أظهر شجري التيكوما تحملية متوسطة إلى متحملة Tolerant في منطقة الدراسة، وأكدت نتائج مؤشر الأداء المتوقع API أن السدر أعطى أداءً ممتازاً يليه الدفلة ثم التيكوما. أُجري تحليل التباين الأحادي لتقييم تأثير المعاملات المختلفة على بعض الصفات البيوكيميائية المدروسة، وبينت نتائج الارتباط أن مؤشر APTI أظهر ارتباطاً إيجابياً قوياً ($0.01 > p$) مع كل من الكلوروفيل الكلي (0.735) وحمض الاسكوربيك (0.989). في حين لوحظ ارتباط سلبي ضعيف بين المحتوى المائي النسبي، ودرجة الحموضة مع مؤشر تحمل تلوث الهواء.

Biomonitoring of Selected Trees Using Air Pollution Tolerance Index and Anticipated Performance Index in Brack Al-Shati, Libya

Fadel Mohamed Binyehmed^{1*} Ambarikah M. Fadhil Nouraldeen²

The evaluation of Air Pollution Tolerance Index (APT) and Anticipated Performance Index (API) for trees is of paramount importance given the increasing severity of air pollution on the environment. It is worth noting that different plant species react and adapt differently to air pollutants rely on the environmental conditions of their planting site, thus plant species can be used as important bio-monitors for air pollution. Therefore, this study was useful for monitoring air quality and identifying suitable sensitive and tolerant plant species that can be planted to control air pollution or used as bio-monitors, which could form an important mechanism for reducing air pollution in various polluted environments. This study was conducted on Tecoma, Oleander, and Sidr trees in two areas in Brack Al-Shati; namely the university site and Ashkadah area, where the tolerance index of these plants to air pollutants was estimated by analyzing four parameters: the pH of the leaf extract, relative water content, total chlorophyll, and ascorbic acid concentration, in addition to evaluating the anticipated performance index. The study results revealed that the tolerance of the studied trees ranged from moderately tolerant (Immediately Tolerant) to tolerant. The results proved that the Sidr tree was the best tolerant tree to air pollutants in both study sites, while Tecoma trees ranged between moderate and tolerant tolerance in the study area. The API results confirmed that Sidr gave excellent performance, followed by Oleander, then Tecoma. One-Way ANOVA was conducted to evaluate the effect of different treatments on some of the studied

biochemical traits, and the correlation results showed that the APTI index exhibited a strong positive correlation ($p < 0.01$) with both total chlorophyll (0.735) and ascorbic acid (0.989). A weak negative correlation was observed between relative water content and pH with the air pollution tolerance index.

المقدمة

تعتبر الأنشطة البشرية مثل الصناعة والنقل وزيادة النمو السكاني المضطرب أحد أهم مسببات تلوث الهواء (Singh et al., 2024)، حيث يمكن أن تنطلق ملوثات مختلفة إلى الغلاف الجوي مثل أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والأوزون والدقائق والمركبات العضوية المتطايرة (Rathore et al., 2018; Nawaz et al., 2023). إن وجود مثل الملوثات في الغلاف الجوي لا يؤثر فقط على جودة الهواء، بل له تأثير غير مباشر وخفي على النباتات التي تتواجد بالقرب من مصادر التلوث (Adrees et al., 2016). ومن الملاحظ وعلى مدار العشرين عاما الماضية، أن العلاقة بين التلوث وخاصة ملوثات الهواء والغذاء النباتي نالت اهتماما متزايدا (Umar et al., 2024)، نتيجة لتأثير هذه الملوثات على فسيولوجية وإنتاجية ونمو النباتات (Skinder et al., 2014). إضافة لذلك، إن تواجد النباتات في كل مكان يجعلها عرضة للملوثات أكثر من أي كائن آخر فهي تغطي مساحات كبيرة من المناطق السكنية والزراعية والصناعية (Swami & Chauhan, 2015). وفي هذا السياق أوضح Kim et al., (2015) أن وجود النباتات ضروري للحفاظ على التوازن البيئي ومن خلالها يمكن استخدامها كأداة مراقبة حيوية لمراقبة تأثير التلوث عليها في مختلف الظروف البيئية. ومن المعلوم أن ما يميز النباتات في هذا الجانب هو أوراقها التي توفر مساحات كبيرة لامتصاص وتراكم الملوثات المختلفة عليها، ومن ثم تعمل كمصرف sink لتقليل مستوى التلوث في أي بيئة ملوثة (Escobedo et al., 2008). لذلك، تُخضع النباتات المعرضة لهذه الملوثات لتغيرات فسيولوجية مختلفة قبل أن تظهر أي إصابات واضحة عليها (Achakzai et al., 2017). إضافة لذلك، النباتات المزروعة في بيئات مختلفة تظهر مجموعة متنوعة من الاستجابات، حيث تظهر اختلافات واضحة في عملية التمثيل الضوئي وتنظيم الثغور والتنفس والعديد من العمليات الأيضية والكيميائية، وبالتالي يساعد هذا الاختلاف في السمات الفسيولوجية والكيميائية في تحديد حساسية وتحمل النباتات لمختلف ملوثات الهواء (Mahrukh et al., 2023).

توفر عملية زراعة الأشجار على جانبي الطرق roadside عدة مزايا للبيئة، منها على سبيل المحصر؛ حماية مستجمعات الأمطار watershed القريبة، وتحسين إدارة مياه الأعاصير، والتخفيف من تأثير الجزر الحرارية في المدن والتقليل من التلوث الضوضائي إضافة إلى المنافع الاجتماعية. ومن الجدير بالذكر أن الأشجار المزروعة بجانب الطرق يمكنها أن تمتص تسعة أضعاف التلوث الذي تمتصه الأشجار البعيدة عن الطرق، إلى جانب قدرتها على تحويل الغازات الضارة إلى أكسجين. من هنا برزت الحاجة إلى إيجاد آلية مناسبة تساعد على اختيار الأشجار المناسبة للزراعة بجانب الطرق أو حتى في الأماكن الملوثة مثل المناطق الصناعية بهدف تطوير حزام أخضر يعطي تلك المزايا الهامة للبيئة (Nawaz et al., 2023). ويمكن معرفة قدرة الأشجار على تحملها وحساسيتها تجاه ملوثات الهواء المختلفة وذلك من خلال دراسة بعض العلامات الكيميائية للنبات؛ مثل درجة حموضة (الأس الهيدروجيني) مستخلص الأوراق والمحتوى المائي النسبي والمحتوى الكلي للكوروفيل وحمض الأسكوربيك (Kuddus et al., 2011; Sadia et al., 2019). من هذا المنطلق، فإن حساب تحمل وحساسية الأشجار باستخدام مؤشر تحملية ملوثات الهواء (APTI) Air pollution Tolerance Index سوف يعطي تصنيقا يمكن من خلاله معرفة قدرة الأشجار على تحمل الملوثات وذلك عن طريق حساب العلامات الأربعة السابقة (Jabeen, 2019; Sapkota & Shrestha, 2024). إن قيمة APTI العالية تدل على أن الأشجار لها قدرة عالية على تحمل ملوثات الهواء ويمكن زراعتها في مناطق ملوثة لتحسين جودة هوائها، وفي المقابل يمكن استخدام الأشجار ذات القيم الصغيرة كمؤشرات bioindicator للتلوث (Thomas et al., 2024).

العديد من الدراسات أجريت لتحديد تحمل الأشجار بمقاومة ملوثات الهواء، ففي إيران أجريت

دراسة قام بها Dadkhah-Aghdash et al., (2022) عن مجموعة من النباتات فينتت الدراسة أن أشجار مثل *Ailanthus altissima* *Salix babylonica*، كانت حساسة للملوثات الهواء 11.08 و 11.15 على التوالي، في حين أظهرت شجرة *Morus alba* تحملية متوسطة (14.08). وفي دراسة أجريت في الهند بينت أن شجرة *Ficus religiosa* لها تحملية عالية (23.23) تليها شجرة *Pongamia pinnata* (20.85) بينما أظهرت شجرة *Polyalthia longifolia* حساسية تجاه ملوثات الهواء في مدينة نيودلهي (Singh et al., 2024). كما وجد Mahrukh et al., (2023) أن هناك علاقة ارتباط موجبة قوية بين قيم APTI وحمض الأسكوربيك ($R^2=0.9183$)، وعلاقة ارتباط ضعيفة موجبة بين قيم APTI والكوروفيل والمحتوى المائي النسبي ($R^2=0.3779$ و $R^2=0.336$) على التوالي. وعلى الرغم من إجراء عدة دراسات حول العالم إلا أن مثل هذه الدراسة لم تحظى بدراسة كافية في ليبيا، ففي دراسة قام بها بن يحمّد وآخرون، 2025 قاموا بدراسة تحملية وحساسية أشجار النخيل والزيتون والسرول والأثل في بلدية براك الشاطئ جنوب ليبيا، فقد أظهرت النتائج أن شجرة النخيل كانت أكثر تحملا للملوثات وفي المقابل كانت شجرة السرول حساسة للملوثات. ومن هنا، تحدف هذه الدراسة إلى تقييم مؤشر تحملية APTI أشجار السدر والدفلة والتيكوما في منطقتين في بلدية براك الشاطئ من خلال تقدير أربع معلمات هي درجة حموضة مستخلص الأوراق والمحتوى المائي النسبي والكوروفيل الكلي وتركيز حمض أسكوربيك وكذلك تقدير مؤشر الأداء المتوقع (Anticipated Performance Index (API)، إلى جانب معرفة إن كان هناك اختلاف بين منطقتي الدراسة. نتائج هذه الدراسة ستساعد على اختيار أنواع الأشجار المناسبة لرصد تلوث الهواء وإدارة الأحزمة الخضراء.

المواد والطرق:

أجريت هذه الدراسة في بلدية براك الشاطئ في الجنوب الغربي من ليبيا وهي أحد بلديات وادي الشاطئ. ويسكنها أكثر من 27 ألف نسمة حسب تقرير برنامج دعم الحكم المحلي والاستقرار في ليبيا (CILG, 2017). تتميز المنطقة مثل سائر المناطق في الجنوب الليبي بمناخ بارد شتاءً وجاف وحار صيفا، وتتميز المنطقة بقلة معدلات الأمطار حيث لا تتجاوز عدد الأيام المطيرة في السنة الواحدة عن 5 أيام (CILG, 2017). تم اختيار منطقتين في هذه البلدية بناءً على الكثافة السكانية وهما موقع جامعة وادي الشاطئ وهو موقع على الطريق العام يتميز بكثافة مرورية، أما الموقع الثاني فيقع في منطقة أشكدة التي تبعد عن مدينة براك حوالي 20 شرقا وتميز بأنها منقطة قروية، الشكل 1 بين موقع الدراسة التي أخذت منها العينات.

تم اختيار ثلاث أنواع من الأشجار دائمة الخضرة والتي تستخدم في الزراعة حول الطرق وكنباتات زينة ومصداً رياح وهي شجرة التيكوما والدفلة والسدر. تعد شجرة التيكوما أو ما تعرف بشجيرة البوق الصفراء *Juss. ex Kunth Tecoma stans (L.)* من شجيرات الزينة المزهرة والمعمدة ودائمة الاخضرار وقائمة الشكل، كثيرة التفرع ويصل ارتفاعها إلى 9 أمتار وموطنها الأصلي أمريكا الجنوبية. أوراق التيكوما من نوع المركبة الريشية ومتقابلة الترتيب على الساق ذات شكل رمحي خضراء اللون فاتحة ذات حواف مسننة، وأزهارها ذات لون أصفر وغمارها من نوع القرنة وتكون شريطية مضغوطة من الجانبين. تنتشر شجرة التيكوما في أنحاء متفرقة من العالم مما يدل على قدرتها العالية على تحمل مدى واسع من الظروف البيئية والمناخية المختلفة. تستخدم هذه الشجيرات بكثرة في زراعة الشوارع العامة والحدائق (الشريف، 2023). أما شجرة الدفلة فهي من نباتات الزينة دائمة الخضرة وهي شجرة برية يتراوح ارتفاعها ما بين 2-6 متر وساقها جالسة ومغطاة بقشيرة سمكية على هيئة دوائر ولها أفرع منتصبه وأزهارها كبيرة الحجم ومختلفة الألوان. موطنها الأصلي البحر المتوسط وفي المناطق المعتدلة والجافة. الاسم العلمي

حساب مؤشر تحمل ملوثات الهواء APTI

تم حساب مؤشر تحمل تلوث الهواء APTI باستخدام المعلمات الأربعة السابقة والتعويض بما في المعادلة (1) كما جاء في (Nawaz et al., 2023) كما يلي:

$$APTI = \frac{AA(T + P) + R}{10} \quad (1)$$

حيث أن:

AA = تركيز حمض الاسكوربيك (ملجم/جم)

T = الكلوروفيل الكلي (ملجم/جم)

P = درجة الحموضة (الأس الهيدروجيني).

R = المحتوى المائي النسبي (%).

ومن خلال النتيجة المتحصل عليها من المعادلة (1) يمكن تقدير مؤشر تحمل الأشجار للملوثات الهواء من خلال الجدول (1) التالي:

جدول 1. تصنيف النباتات بناءً على قيم APTI

الاستجابة/الدرجة أو مستوى التحمل	قيمة APTI
متحمل Tolerant	100-30
متوسط التحمل Immediately Tolerant	29-17
حساس Sensitive	16-1
حساس جدا Highly Sensitive	>1

مؤشر الأداء المتوقع (API)

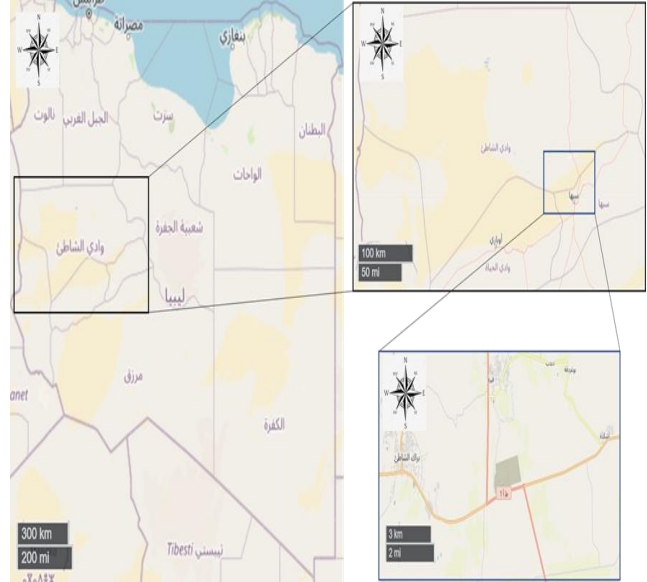
يُصنّف مؤشر الأداء المتوقع (API) أنواع النباتات وفقاً لمستويات التلوث المختلفة، وذلك بناءً على إمكاناتها. ويشمل هذا المؤشر مستوى تحمل التلوث (APTI)، والخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية socio-economic، والخصائص النسيجية laminar للنباتات. يُحدد مؤشر APTI مدى تحمل الأنواع للتلوث، في حين تشمل الخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية شكل النبات، وبنية الغطاء النباتي، ونوع النبات. علاوة على ذلك، تشمل الخصائص النسيجية، الحجم، والملمس، والصلابة، والقيمة الاجتماعية-الاقتصادية. لكل خاصية من الخصائص المذكورة أعلاه، تم تخصيص علامة زائد (+) وعلامة ناقص (-) بناءً على خصائص النباتات المدروسة لحساب فة تقييم مؤشر الأداء المتوقع، كما هو موضح في الجدولين 2 و 3. ولهذا الغرض، تم حساب درجة مؤشر الأداء المتوقع باستخدام المعادلة (2) التالية لتصنيف النباتات إلى فئات تقييم مختلفة (Patil et al., 2022).

$$API = \frac{\text{Total (+) acquired by the plant species}}{\text{The highest (+) of plant species}} \times 100 \quad (2)$$

جدول 2. خصائص التقييم API وفقاً للتحملية APTI والخصائص الفسيولوجية والخصائص الاقتصادية-الاجتماعية

الدرجة الممنوحة	نمط التقييم	الخاصية Characters	التقييم
+	9.5 - 0.5	APTI	التحملية Tolerance
++	19.5 - 9.5		
+++	29.5 - 19.5		
++++	39.5 - 29.5		
++++	49.5 - 39.5		
-	صغير	موطن النبات	بيولوجية و Plant Habit
+	متوسط		

للدلفة هو *Nerium oleander L.* وتعود إلى الفصيلة الدفلية Apocyanaceae وتحتوي على العديد من المواد الفعالة تشمل جليكوسيدات، القلويدات، الفلافونيات، الصابونيات والفينولات؛ وهذه المواد هي ما تعطي النبات صفات علاجية، إلا أنها تعتبر من النباتات السامة وتؤدي للوفاة خاصة الأطفال (خليل والقي، 2019).



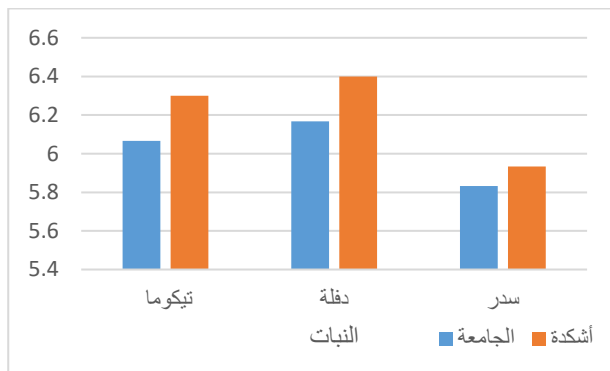
شكل 1. منطقة الدراسة في بلدية براك الشاطئ

السدر يسمى علمياً *Zizyphus Spina Christi* هو شجيرة ذات أشواك تنمو برياً وفي المزارع وتعتبر من الفصيلة العنابية أو السدرية *Rhamnaceae*، وثمار السدر هو البق ذا رائحة عطرية وطعم حلو. تتميز شجرة السدر بأطول متباعدة فقد يصل طولها إلى خمسة أمتار وأكثر. أوراق السدر بسيطة لها عروق بارزة وأزهارها بيضاء مصفرة. وينمو السدر في المناطق الحارة والجافة حيث الترب الفقيرة ويعرف عن السدر تحمله للملوحة، ويعتبر من أفضل الأشجار التي تتحمل الظروف القاسية، وينتشر في كل الدول الأفريقية ودول البحر المتوسط والهند وباكستان وإيران وشبه الجزيرة العربية. وأشجار السدر من أفضل الأشجار المثمرة من الناحية الاقتصادية فهي لا تكلف أي جهد لأصحاب المساتين والمزارع مقارنة بالأشجار الأخرى (المهاق وآخرون، 2016). ولتقدير تحميلة الأشجار للملوثات الهواء تم قطع الأوراق المكشوفة في ثلاث مكررات بعناية (عند قاعدة عنق الورقة على ارتفاع 2 متر من سطح الأرض) من الأشجار الثلاثة من كل نوع ونقلها على الفور في أكياس بلاستيكية نظيفة إلى المعمل لأجراء الاختبارات العملية الخاصة بتقدير مؤشر التحميلة لهذه الأشجار. أجريت كل التجارب في معامل كلية البيئة والموارد الطبيعية بجامعة وادي الشاطئ.

الاختبارات البيوكيميائية

لتقدير مؤشر تحميلة الأشجار تجاه ملوثات الهواء APTI تم تقدير أربع معلمات وهي درجة حموضة مستخلص الأوراق، المحتوى المائي النسبي، الكلوروفيل الكلي، وتركيز حمض الاسكوربيك. تم تقدير درجة حموضة مستخلص الأوراق وذلك وفقاً لما ذكره Shrestha et al., (2021) وقيس الأس الهيدروجيني باستخدام جهاز pH من نوع LaMotte. أما المحتوى المائي النسبي فتم تقديره بحسب الطريقة التي ذكرها Zahid et al., (2023). وفي ذات الجانب العملي، تم تقدير الكلوروفيل الكلي باستخدام جهاز الامتصاص الضوئي من نوع JENWAY 6305 Spectrophotometer وذلك وفقاً للطريقة التي اعتمدها عليها Hanif et al., (2025). كذلك تم تقدير تركيز حمض الأسكوربيك ذلك طبقاً للطريقة التي بينها Hussain et al., (2011).

المكسوس Hexose sugar إلى حمض الاسكوريك، بينما انخفاض الأس الهيدروجيني مرتبط بالحساسية لتلوث الهواء (Jabeen, 2019). إن تعرض أوراق النبات للملوثات الحمضية مثل أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين يؤدي إلى انخفاض في درجة حموضة الأوراق، ويكون هذا الانخفاض أكثر وضوحاً في النباتات الحساسة مقارنةً بالنباتات المتحملة (Bharti *et al.*, 2018; Rathore *et al.*, 2018; بن محمد وآخرون، 2025). لم تُسجل فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين (موقعي الدراسة) في قيمة الأس الهيدروجيني، حيث بلغت قيمة $F = 4.250$ ومستوى الدلالة $p = 0.056$ ، وهي قيمة أعلى من مستوى الدلالة المعتمد ($\alpha = 0.05$). يشير ذلك إلى أن الاختلاف بين المجموعتين (أي منطقتي الدراسة) في هذا المتغير غير معنوي إحصائياً. أما عند تحليل التباين بين ثلاث أنواع من الأشجار فقد تبين عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعات الثلاث من الأشجار في قيم الأس الهيدروجيني، مما يدل على استقرار درجة الحموضة وعدم تأثرها بالملوثات، ويُعزى ذلك إلى قدرة النظام الحيوي للأشجار على تنظيم التوازن الأيوني والحفاظ على الاتزان الداخلي رغم اختلاف المعاملات.



شكل 2. درجة حموضة مستخلص الأوراق لعينات الأشجار في منطقة الدراسة

المحتوى المائي النسبي Relative Water Content

بينت النتائج المتحصل عليها والموضحة في الشكل 3 أن متوسط المحتوى المائي النسبي في منطقة الدراسة بلغ $4.88 \pm 82.178\%$ في حين كانت أقل قيمة 73.61% وأعلى نسبة كانت 92.86% . كما أظهرت النتائج ان المحتوى في موقع الجامعة كان أعلى (84.62%) من منطقة أشكدة (79.74%)، وبالاستناد إلى النتائج الإحصائية تبين أن أعلى متوسط كان في نبات السدر ثلثه الدفا ثم التيكوما حيث كان المتوسط 84.90 و 83.13 و 78.50% على التوالي.

يُعدّ المحتوى المائي النسبي أحد المعايير المرتبطة بقدرة النباتات على تحمّل الملوثات. ويُعتبر المحتوى المائي في النباتات ذا أهمية بالغة، إذ يُنظّم العديد من وظائفها الفيزيولوجية في ظل ظروف الإجهاد المختلفة، كما هو الحال عند تعرّضها لمستويات عالية من الملوثات. وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن المحتوى المائي النسبي للنباتات يظهر اختلافاً متبايناً، وقد يُعزى هذا التباين في المحتوى المائي النسبي بين النباتات المدروسة إلى اختلاف قدرتها على تحمّل الملوثات المختلفة. وقد أشارت العديد من الدراسات إلى أن ارتفاع مستوى تلوث الهواء يزيد من نفاذية الخلايا ويُذيب العناصر الغذائية، مما يؤدي إلى شيخوخة أوراق النباتات المبكرة. وبالتالي، يُعدّ ارتفاع المحتوى المائي في ظل ظروف الإجهاد مؤشراً على قدرة بعض أنواع النباتات على التحمّل (Achakzai *et al.*, 2019; Jabeen, 2019). أظهر تحليل التباين وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين منطقتي الدراسة في قيم محتوى المائي النسبي، حيث بلغت قيمة $F = 5.735$ عند مستوى دلالة $p = 0.029$ يدل ذلك على تأثير معنوي للملوثات في كلا الموقعين على المحتوى النسبي للماء، وعند تحليل للتباين بين الأنواع الثلاثة للأشجار أظهرت النتائج فرقاً قريباً من مستوى الدلالة الإحصائية، إلا أنه لم يصل إلى الحد المقبول إحصائياً مما قد يشير إلى استجابة فسيولوجية جزئية تجاه المعاملات المختلفة قد يعكس تغيرات طفيفة في الحالة المائية للنبات.

اجتماعية-اقتصادية Biological & Socioeconomic	(PH)	كبير	++
	هيكل المظلة Canopy Structure (CS)	متفرق/غير منتظم/كروي تاج منتشر/مفتوح/شبه كثيف انتشار كثيف	- + ++
	نوع النبات Type of Plant (TP)	غير دائمة الخضرة دائمة الخضرة	- +
هيكل الصفحي Laminar Structure	الحجم Size (S)	صغير متوسط كبير	- + ++
	النسيج Texture (T)	ناعم جلدي	- +
	الصلابة Hardness (H)	محدد قوي	- +
	القيمة الاقتصادية Economic Value (EV)	أقل من ثلاث استخدامات 3 أو 4 استخدامات 5 أو أكثر	- + ++

جدول 3. تصنيف النباتات بناءً على درجة مؤشر الأداء البيئي (API) الخاصة بها

الدرجة Grading	النسبة المئوية Percent Score	الفئات Categories
0	$30 \geq$	غير مستحسن recommended
1	40-31	ضعيف جدا Very poor
2	50-41	ضعيف Poor
3	60-51	متوسط Moderate
4	70-61	جيد Good
5	80-71	جيد جدا Very good
6	90-81	ممتاز Excellent
7	100-91	أفضل Best

اجري التحليل الاحصائي باستخدام برنامج SPSS v. 21 تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري، وكذلك أُجري اختبار تحليل التباين أحادي الاتجاه (one-way ANOVA) لتقييم متوسط التباين بين مجموعات العينات، وكذلك أُجري تحليل ارتباط بيرسون (ثنائي الطرف) عند مستوى 0.05 للكشف عن العلاقات بين خمسة معايير (الأس الهيدروجيني، المحتوى النسبي للماء، الكلوروفيل الكلي، حمض الاسكوريك و (APT).

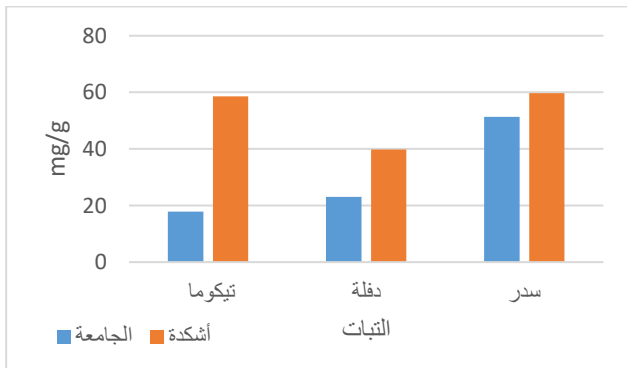
النتائج والمناقشة:

درجة حموضة مستخلص الأوراق pH Leaf Extract

أظهرت النتائج أن متوسط درجة الحموضة (الأس الهيدروجيني) لمستخلص الأوراق عينات الأشجار كان في منطقة الدراسة كان 0.212 ± 6.116 كما يظهر في الشكل 2. وبينت النتائج كذلك أن درجة الحموضة لكل من شجرة التيكوما والدفا والسدر حيث بلغت 0.21 ± 6.13 و 0.22 ± 6.1 و 0.24 ± 6.11 على التوالي. وأظهرت التحليل الإحصائي أن موقع الجامعة أقل حموضة مقارنةً بمنطقة أشكدة حيث كانت 6.02 و 6.211 على التوالي. من النتائج نلاحظ أن درجة حموضة مستخلص الأوراق في موقع الجامعة أكثر حموضة من الموقع الآخر وهذا راجع إلى أن الموقع الأول أكثر عرضة للملوثات بسبب وقوعها في منطقة أكثر كثافة مرورية نتيجة لحركة المركبات المختلفة على الطريق الرئيسي، وهذه النتائج متوافقة مع دراسة (Zouari *et al.*, 2018) الذين أوضحوا أن الأس الهيدروجيني في المناطق الملوثة هي أقل من المناطق الأقل تلوثاً. إن زيادة قيمة الأس الهيدروجيني له تأثير على تحويل سكر

حمض الاسكوربيك (AA) Ascorbic Acid

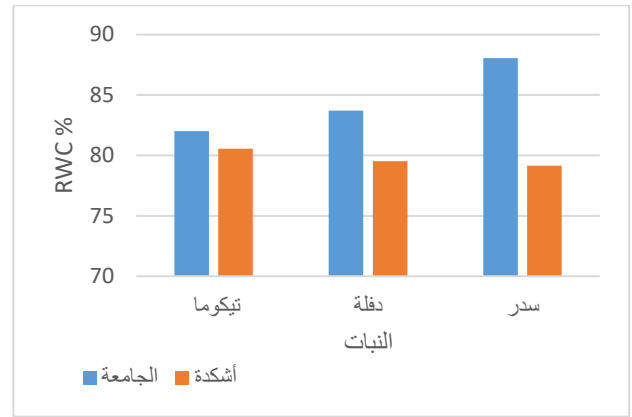
أظهرت النتائج أن متوسط حمض الاسكوربيك في منطقة الدراسة كان 17.806 ± 41.703 ملجم/جم في حين تدرج التركيز من 16.40 إلى 70.30 ملجم/جم، كما هو واضح من الشكل 5 أن تراكيز هذا الحمض كانت عالية في منطقة أشكدة مقارنة بموقع الجامعة 52.67 و 30.73 ملجم/جم على التوالي. وبصفة عامة كان محتوى الحمض عاليا في كل من شجرتي التكيوما والسدر مقارنة بشجرة الدفلة. نتائج هذه الدراسة تتوافق مع ذكره (Sadia et al., 2017) من أن محتوى حمض الأسكوربيك يتأثر بزيادة التلوث وما ذكره (Achakzai et al., 2022) كما بينت دراسة قام بها Patil et al., (2022) حيث ذكر أن محتوى الحمض في المناطق القروية أعلى من المناطق السكنية والصناعية. يعتبر حمض الأسكوربيك مضاد أكسدة يوجد بوفرة في النباتات، ويعد وسيلة دفاع ضد ظروف الإجهاد المختلفة عن طريق تقليل تكوين الجذور الحرة الضارة والأوزون. قد يعود ارتفاع محتوى حمض الأسكوربيك إلى زيادة إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية بفعل عملية الأكسدة الضوئية، والتي تتأثر بمستوى التلوث. علاوة على ذلك، يتمتع حمض الأسكوربيك بقدرة اختزال قوية تساعد على تحويل الكبريت إلى كبريتيد الهيدروجين، مما يقلل من سمية ثاني أكسيد الكبريت والكلوروفيل الناتج عن بيروكسيد الهيدروجين. كما أنه يعزز عملية التمثيل الضوئي من خلال حماية المناطق المتضررة والملوثة (Timilsina et al., 2021). أظهرت نتائج ANOVA وجود فروقا ذات دلالة إحصائية في محتوى هذا الحمض، حيث بلغت قيمة $F = 10.747$ عند مستوى دلالة $p = 0.005$ ، مما يعكس استجابة فيسيولوجية مختلفة بين عينات الأشجار في منطقتي الدراسة، كما لم تظهر النتائج عدم وجود فروق معنوية واضحة ($p=0.954$) بين مجموعات الأشجار الثلاثة المدروسة، مما يدل على ثبات النظام المضاد للأكسدة وعدم تحفيزه بشكل ملحوظ. وقد يُعزى ذلك إلى عدم تعرض النبات لإجهاد تأكسدي حاد يستدعي زيادة تراكم مضادات الأكسدة.



شكل 5. تركيز حمض الأسكوربيك في عينات الأشجار في منطقة الدراسة

مؤشر تحمل ملوثات الهواء APTI

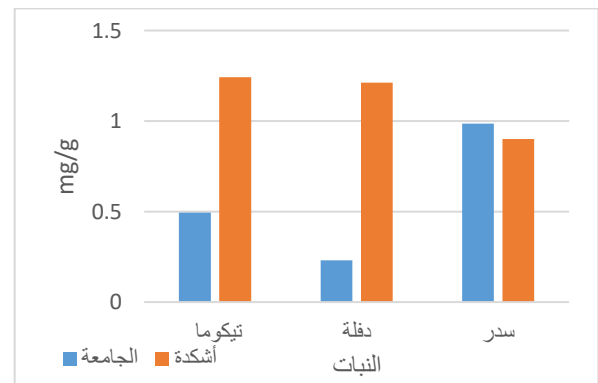
الجدول 5 يوضح نتائج مؤشر التحملية APTI لشجرة التيكوما والدفلة والسدر وذلك من خلال نتائج تحليل أربع معلمات (الاس الهيدروجيني لمستخلص الأوراق، المحتوى المائي النسبي، الكلوروفيل الكلي و حمض الاسكوربيك) وباستخدام المعادلة (1) تم تقدير مؤشر تحمليية عينات الدراسة. النتائج بينت الأشجار المزروعة في موقع الجامعة كانت أقل من منطقة أشكدة، حيث أن الأشجار في المنطقة أكثر عرضة للتلوث المنبعث من المركبات الآلية المختلفة، بينما الموقع الثاني وهي منطقة صغيرة لا تتعرض فيها الأشجار لكمية كبيرة من ملوثات الهواء، وهذا ما أكدته التحليل الإحصائي الذي أثبت أن مؤشر APTI في موقع الجامعة كان 28.87 يقع في مدى متوسط التحمل وهو مؤشر يوضح مدى تأثير ملوثات الهواء على الخصائص البيوكيميائية للأشجار، وفي المقابل كان المؤشر 46.39 في منطقة أشكدة أي أنها مستوى التحمل في هذه المنطقة كان متحمل Tolerant. نتائج هذه الدراسة لم تتوافق مع الدراسة التي أجريت في الهند لتحديد مؤشر التحمل لشجرة الدفلة، حيث كانت النتائج تتراوح بين 9.42 في منطقة صناعية



شكل 3. المحتوى المائي النسبي لعينات الأشجار في منطقة الدراسة

الكلوروفيل الكلي Total Chlorophyll

من خلال النتائج المتحصل عليها نجد أن متوسط الكلوروفيل الكلي للعينات في منطقة الدراسة كان 0.411 ± 0.844 ملجم/جم حيث كانت أقل قيمة 0.17 وأعلى قيمة 1.45 ملجم/جم، وبينت النتائج أن متوسط تركيز الكلوروفيل في موقع الكلية كان أقل من منطقة أشكدة 0.57 و 1.119 ملجم/جم على التوالي، (الشكل 4). إن محتوى الكلوروفيل في أي نبات له دلالة على النشاط الضوئي، والنمو، وإنتاجية الكتلة الحيوية، ويعتمد تركيزه على عدة عوامل؛ منها عمر النبات، ومستوى التلوث، وعوامل حيوية وغير حيوية أخرى. في هذه الدراسة، يُجد أن إجمالي الكلوروفيل يزداد مع المسافة عن مصدر التلوث. عمومًا، أظهرت جميع النباتات المدروسة تراكيز منخفضة من أصباغ التمثيل الضوئي بالقرب من مصدر التلوث (مصادر المركبات الآلية). قد يُعزى اختلاف تركيز الكلوروفيل باختلاف موقعي الدراسة إلى زيادة التلوث بالقرب من المصدر وهو ما قد يُعزى إلى ترسب الملوثات على مسافة من المصدر تبعًا لسرعة الرياح واتجاهها. تؤدي الترسبات الكبيرة للمواد الجسيمية مثل الغبار والسخام إلى انسداد مسام الثغور وتعطيل الدورة الغازية للنبات اللازمة للتمثيل الضوئي. إن نتائج هذه الدراسة جاءت متوافقة مع دراسة مع دراسة كل من (Achakzai et al., 2017) ودراسة Shrestha et al., (2021) من حيث أن التلوث له تأثير سلبي على محتوى الكلوروفيل. كشفت نتائج تحليل التباين عن وجود فروق معنوية عالية في متوسط الكلوروفيل الكلي بين منطقتي الدراسة ($p = 0.002$, $F = 14.320$)، مما يشير إلى اختلاف واضح في القدرة التمثيلية الضوئية بين المنطقتين (موقع الجامعة ومنطقة أشكدة)، وفي المقابل لم تُسجل فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعات الثلاثة للأشجار ($p=0.842$) مما يدل على أن عملية التمثيل الضوئي ظلت مستقرة نسبيًا ولم تتأثر بملوثات الهواء. وتشير هذه النتيجة إلى أن المعاملات لم تبلغ مستوى من الشدة الكافية لإحداث اضطراب في تكوين أو تحليل أصباغ الكلوروفيل.



شكل 4. محتوى الكلوروفيل الكلي في عينات الأشجار في منطقة الدراسة

علاقة الارتباط بين APTI والمعلومات البيوكيميائية

أجري تحليل الارتباط بين مؤشر التحمل والمعلومات الاربعة المدروسة باستخدام تحليل ارتباط بيرسون (الجدول 6). أظهر المؤشر ارتباطاً إيجابياً قوياً ($p > 0.01$) مع كل من الكلوروفيل الكلي (0.735) وحمض الأسكوربيك (0.989). في المقابل، لوحظ ارتباط سلبي ضعيف بين المحتوى المائي النسبي، ودرجة الحموضة، ومؤشر تحمل تلوث الهواء. وهذه النتائج اتفقت مع ما ذكره (Alotaibi et al., (2020) و Al-Naimi et al., (2023) بوجود ارتباط إيجابي قوي بين مؤشر تحمل تلوث الهواء وحمض الأسكوربيك، كما أشار Alhesnawi et al., (2018) إلى وجود ارتباط إيجابي قوي بين مؤشر تحمل تلوث الهواء وحمض الأسكوربيك. بينما كان ارتباطه ضعيفاً مع بقية المعايير، حيث يظهر من الجدول 6 أن مؤشر APTI له ارتباط سالب ضعيف مع كل من الاس الهيدروجيني والمحتوى المائي وهذه النتيجة متوافقة مع ما وجدته (Sahu et al., (2020).

جدول 6. تحليل الارتباط بين مؤشر APTI والمعلومات البيوكيميائية

	pH	RWC	T.Ch	AA	APTI
pH	1				
RWC	0.372-	1			
T.Ch	0.235	0.189-	1		
AA	0.127-	0.110-	0.648**	1	
APTI	0.059-	0.124-	0.735**	0.989**	1

الخلاصة

أجريت هذه الدراسة لمعرفة مدى تحمل أشجار التيكوما والدفلة والسدر المزروعة في منطقتين في بلدية براك الشاطئ هما؛ موقع الجامعة وهي منطقة مكتظة وبها حركة كثيفة للمركبات الآلية، ومنطقة أشكدة التي تعد منطقة قروية. ولتحديد مؤشر تحمل ملوثات الهواء Air Pollution Tolerance Index (APTI) تم قياس أربع معلمات بيوكيميائية هي؛ الأس الهيدروجيني لمستخلص أوراق الأشجار، المحتوى المائي النسبي، الكلوروفيل الكلي ومحتوى حمض الأسكوربيك. كما تم تحديد مؤشر الأداء المتوقع Anticipated Performance Index (API) لهذه الأشجار بناءً على مؤشر APTI وبعض الخصائص الفسيولوجية والأهمية الاقتصادية. إلى جانب ذلك تم إجراء التحليل الإحصائية اللازمة. أظهرت النتائج أن متوسط الأس الهيدروجيني لمستخلص الأوراق عينات الأشجار كان في منطقة الدراسة كان 0.212 ± 6.116 وبينت النتائج أن موقع الجامعة أقل حموضة مقارنة بمنطقة أشكدة حيث كانت 6.02 و 6.211 على التوالي. كما بينت النتائج أن متوسط المحتوى المائي النسبي (REC) في منطقة الدراسة بلغ 4.88 ± 82.178 % حيث كان المحتوى المائي في موقع الجامعة كان أعلى (84.62 %) من منطقة أشكدة (79.74 %). وأوضحت النتائج كذلك أن متوسط الكلوروفيل الكلي (T.Ch) للعينات في منطقة الدراسة كان 0.411 ± 0.844 ملجم/جم حيث كان متوسط تركيز الكلوروفيل في موقع الكلية كان أقل من منطقة أشكدة 0.57 و 1.119 ملجم/جم على التوالي. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن متوسط حمض الأسكوربيك (AA) في منطقة الدراسة كان 17.806 ± 41.703 ملجم/جم، كما تبين أن تراكيز هذا الحمض كانت عالياً في منطقة أشكدة مقارنة بموقع الجامعة 52.67 و 30.73 ملجم/جم على التوالي. نتائج APTI أظهرت أن الأشجار في منطقة الدراسة قد تراوحت بين متوسطة التحمل moderate tolerance ومتحملة Tolerant، غير أن الأشجار في موقع الجامعة أقل تحملاً من تلك المزروعة في منطقة أشكدة، وأن أكثر الأشجار تحملاً كانت شجرة السدر يلها الدفلة ثم التيكوما. وقد أكدت نتائج مؤشر الأداء المتوقع Anticipated Performance Index (API) أن شجرة السدر أعطت أفضل نتيجة بناءً على أدائها من حيث مؤشر APTI والخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية، وجاءت شجرة الدفلة

و 12.57 في منطقة جامعة ميوار Mewar University وربما سبب ذلك برجع الى التلوث العالي خاصة بالغبار في هذه الدراسة وذلك حسب ما ذكره Umar et al., (2024). من الجدول نلاحظ أن شجرة السدر أبدت قدرة عالية على مقاومة ملوثات الهواء فقد كان المؤشر 43.58 و 48.79 في كلا الموقعين وهو ما يثبت ان هذه الشجرة لها قدرة عالية على مقاومة الاثار السلبية للملوثات الهواء. نتائج هذه الدراسة توافقت مع جوده Al-Naimi et al., (2023) حيث ذكر أن قيمة APTI لنبات السدر في منطقة قروية Rural كان 56.29 بينما بلغ مؤشر APTI في منطقة محاذية للطريق Roadside 48.88 ، وهو ما يعكس قدرة هذه الشجرة على تحمل ملوثات الهواء، كما تتطابق مع دراسة (Alotaibi et al., (2020) التي أجريت في السعودية.

نتائج تحليل التباين أظهرت عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية ($p=0.962$) في مؤشر تحمل تلوث الهواء (APTI) والمتغيرات المكونة له يشير إلى أن النباتات في جميع مواقع الدراسة قد تعرضت لمستويات متقاربة من الإجهاد البيئي أو الملوثات. هذا التماثل قد يعود إلى تقارب الظروف المناخية أو توزيع الملوثات بشكل متساوٍ في منطقة الدراسة، مما أدى إلى استجابات فسيولوجية متشابهة من قبل الأنواع النباتية قيد الدراسة. وفي المقابل، سُجّلت فروق ذات دلالة إحصائية مرتفعة في قيم APTI بين موقعي الدراسة ($F = 14.421$, $p = 0.002$) مما يدل على اختلاف معنوي في قدرة التحمل البيئي أو مقاومة التلوث.

الجدول 4. نتائج مؤشر تحمل ملوثات الهواء لأشجار التيكوما والدفلة والسدر

الموقع	النبات	APTI	مستوى التحمل
الجامعة	تيكوما	19.92	متوسط التحمل Immediately Tolerant
	الدفلة	23.11	متوسط التحمل Immediately Tolerant
السدر	السدر	43.58	متحمل Tolerant
	تيكوما	52.15	متحمل Tolerant
	الدفلة	38.23	متحمل Tolerant
أشكدة	الدفلة	48.79	متحمل Tolerant
	السدر	48.79	متحمل Tolerant

مؤشر الأداء المتوقع (API)

نتائج مؤشر API المجدولة في الجدول 5 تظهر أن أداء شجرة التيكوما والدفلة والسدر في منطقة الدراسة كان جيداً، حيث كانت النتيجة % 62.5 score، 81.25 و 93.75 % لشجرة التيكوما والدفلة والسدر، على التوالي. ويمكن ملاحظة أن شجرة السدر أعطت أفضل نتيجة بناءً على أدائها من حيث مؤشر APTI والخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية، وجاءت شجرة الدفلة ثانياً في التصنيف فهي أيضاً شجرة أبدت أداءً ممتازاً. ن

جدول 5. نتائج مؤشر الأداء المتوقع (EPI) لأنواع الأشجار المختلفة في موقع الدراسة

اسم النبات	APTI	PH	CS	TP	S	T	H	EV	الدرجة المخصصة		
									مجموع النتيجة +	التصنيف	
تيكوما	++++	+	+	+	++	+	-	-	10	62.5	Good
الدفلة	++++	++	-	++	++	+	+	+	13	81.25	Excellent
السدر	++++	++	++	++	++	+	+	+	15	93.75	Best

نتائج هذه الدراسة أثبتت ان الأشجار التي لها مؤشر APTI عالي هي في الغالب تتميز بأداء ممتاز الى أفضل في المناطق الملوثة مثل الطرق السريعة والمناطق الصناعية وهذه النتيجة توافقت مع نتائج كل من (Patel & Kumar, (2018) و (Amujiri et al., (2024)

Plants Species in Kerbala City, Iraq. *J. Pharm. Sci. Res.* 10(6). 1386–1390.

- Al-Naimi, N.; Elezz, A. A.; Al-Adba, M.; Al-Saadi, H.; Sorino, C.; Hassam, H. 2023. Assessing the Use of *Ziziphus spina-christi* as a Sustainable Solution for Biomonitoring of Urban Air Quality: A Case Study from Qatar. *Sustainability*, 15, 13590. 1-15. <https://doi.org/10.3390/su151813590>
- Alotaibi, MD, Alharbi BH, Al-Shamsi MA, Alshahrani TS, Al-Namazi AA, Alharbi SF, Alotaibi FS, Qian Y. 2020. Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 27(23):29156-29170. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09226-w>
- Amujiri, A. N.; Nweze, Anthony Ejiofor, Ogboji, L. O.; Ikegbunam, C. N.; Umejiaku, C. M.; Okwagbe, O. E.; Ojua, E O.; Osayi, E. E. 2024. Assessment of Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Expected Performance Index (EPI) of Plants along Nsukka, Enugu Road, Nigeria. *Asian Journal of Biology.* 20(12). 113-129. <https://doi.org/10.9734/ajob/2024/v20i12465>
- Bharti, Sushil Kumar, Arti Trivedi, and Narendra Kumar. 2018. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban climate.* 24. 820-829. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.10.007>
- CILG-VNG International. 2017. Libya Local Governance and Stabilization Programme. <https://www.cilginternational.org/wp-content/uploads/2022/02/Rapport-Brack-SDV.pdf>
- Dadkhah-Aghdash, H.; Rasouli M.; Rasouli, K.; Salimi, A. 2022. Detection of urban trees sensitivity to air pollution using physiological and biochemical leaf traits in Tehran, Iran. *Scientific Reports.* 12:15398. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19865-3>
- Escobedo, F.H., Wagner, J.E., Nowak, D.J., De Le Maza, C.L., Rodriguez, M., Crane, D.E., 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chiles policy of using urban forests to improve air quality. *J. Environ. Manag.* 86, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.029>
- Hanif, H. K.; Muhammad, S.; Yang, H.; Awan, M. U.; Ahmed, S.; Tayyab, M.; Majeed, M.; Faisal, S.; Khan, Z. 2025. Biological Evaluation of Air Quality of an Urban Ecosystem through Air Pollution Tolerance and Performance Index. *Aerosol and Air Quality Research.* 25:11. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s44408-025-00008-y>
- Hussain, I.; Khan, L.; Marwat, G. A. 2011. Analysis of Vitamin C in Selected Medicinal Plants. *J.Chem.Soc.Pak.* 33(2). 260-262.
- Jabeen, R. 2019. Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Some Plants Growing on the Roads of Abha, Saudi

تاليا في التصنيف فهي أيضا شجرة أبدت أداء ممتازا. نتائج هذه الدراسة أثبتت أن الأشجار التي لها مؤشر APTI عالي هي في الغالب تتميز بأداء ممتاز Excellent إلى أفضل Best في المناطق الملوثة مثل الطرق السريعة والمناطق الصناعية. وقد خلصت هذه الدراسة إلى أنه يمكن استخدام هذه الأشجار كمراقب حيوي لجودة الهواء وينصح بزراعتها في الأماكن الأكثر تلوثا مثل جوانب الطرق العامة والرئيسية وفي المناطق الصناعية وكأحزمة خضراء. ومن خلال هذه الدراسة نوصي بإجراء مثل هذه الدراسة على أنواع أخرى من الأشجار وكذلك إجراء الدراسة في فصول مختلفة من العام.

الشكر وتقدير

الشكر موصول إلى د. فاضل محمد بن محمد و أ. مسعود أبوستة و أ. مسعودة الشورتوري لما قدموه لي من مساعدة، كما أتقدم بجزيل الشكر إلى كل من مد يد المساعدة لإنجاز هذا البحث، والله ولي التوفيق.

المراجع

- المهاق، عمر مسعود؛ تامر، عائشة؛ علي، هناء منصور. 2016. تقييم التركيب الكيميائي لمار السدر (البقيق) (*Zizyphus Spina Christi* (L.)) النامي بريا بالصحراء الليبية. *المجلة العربية للغذاء والتغذية.* 16(37). 15-25.
- الشريفي، أحمد حمزة حسن. 2023. التحفيز الحيوي بالكايتوسان العادي والنانوي في بعض صفات النمو لشتلات التيكوما تحت مستويات مختلفة من الاجهاد المائي. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة كربلاء.
- بن محمد، فاضل محمد؛ الشريف، إبراهيم محمد؛ تامر، حنان الصالحين. تقييم مؤشر تحمل تلوث الهواء لبعض الأشجار التي تنمو في منطقتين في براك الشاطي، ليبيا. *المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة.* 7(1): 12-18. <https://doi.org/10.63359/65f5dh06>
- خليل، سناء جمال؛ القبي، هدى شعبان. 2019. دراسة مقارنة للصفات المظهرية وبعض الصفات الكيميائية لنبات الدفلة *Nerium oleander L.* (الدفلة البيضاء) والدفلة الوردية *N. Oleander L. Album Plenum N.* *Oleander L. Sealy Pink* (Oleander L. Sealy Pink). *مجلة جامعة مصراتة للعلوم الزراعية.* 1. 113-101
- Achakzai, K.; Khalid, S.; Adrees, M.; Bibi, A.; Ali, S.; Nawaz, R.; Rizwan M. 2017. Air pollution tolerance index of plants around brick kilns in Rawalpindi, Pakistan. *Journal of Environmental Management.* 190, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.072>
- Adrees, M., Ibrahim, M., Mehmood, A., Abbas, F., Saleem, F., Rizwan, M., Hina, S., Jabeen, F., Ali, S., 2016. Gaseous pollutants from brick kiln industry decreased the growth, photosynthesis, and yield of wheat (*Triticum aestivum L.*). *Environ. Monitor. Assess.* 188, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5273-8>
- Alhesnawi, A.S.M.; Alsalman, I.M.; Najem, N.A. 2018. Evaluation of Air Pollution Tolerance Index of Some

- <https://doi.org/10.30954/0974-1712.2018.00178.4>
- Sadia, H. E., F. Jeba, A. T. M. M. Kamal and A. Salam. 2019. Air Pollution Tolerance Index of Mangifera Indica Plant Species Growing in the Greater Dhaka Region, Bangladesh. *J. biodivers. conserv. bioresour. manag.* 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.3329/jbcm.v5i1.42180>
- Sahu, C.; Basti, S.; Sahu, S. K. 2020. Air pollution tolerance index (APTI) and expected performance index (EPI) of trees in Sambalpur town of India. *SN Applied Sciences.* 2:1327. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3120-6>
- Sapkota S.; Shrestha, S. M. 2024. Assessment of air pollution tolerance index and anticipated performance index of roadside plants used for greenbelt development in the Kathmandu Valley, Nepal. *Environmental Challenges*,14,100818. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100818>
- Shrestha, S.; Baral, B.; Dhital, N. B.; Yang, H. 2021. Assessing air pollution tolerance of plant species in vegetation traffic barriers in Kathmandu Valley, Nepal. *Sustainable Environment Research.* 31(3). 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00076-2>
- Singh, L.; Sindhu, S. S.; Singh M. C.; Jaiswal, S.; Kumar S.; Sharma D. K.; Singh, B. 2024. Evaluation of tree species using Air Pollution Tolerance Index for urban landscaping in Delhi. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 94 (1): 086-091. <https://doi.org/10.56093/ijas.v94i1.139605>
- Skinder, M. B., Sheikh, Q. A., Pandit, K.A., Ganai, A. B., 2014. Brick kilns emissions and its environmental impact: a review. *J. Ecol. Nat. Environ.* 6, 1-11. <https://doi.org/10.5897/JENE2013.0423>
- Swami, A., Chauhan, D., 2015. Impact of air pollution induced by automobile exhaust pollution on air pollution tolerance index (APTI) on few species of plants. *Int. J. Sci. Res.* 4, 342-343. <https://doi.org/10.36106/ijrsr>
- Thomas, H. M.; Brijithlal N. D. and Sabu, J. A. 2024. A Study on the Air Pollution Tolerance Index (Apti) of Selected Plants from Kottayam District, Kerala. *World Journal of Pharmaceutical & Life Science.* 10(6). 241-245.
- Timilsina, S.; Shakya, S.; Chaudhary, S.; Magar, G. T.; Munankarmi, N. N. 2021. Evaluation of air pollution tolerance index (APTI) of plants growing alongside inner ring road of Kathmandu, Nepal. *International Journal of Environmental Studies.* 1-16. <https://doi.org/10.1080/00207233.2021.1946346>
- Umar, A. K.; Singh, P.; Garu, U.; Ibrahim, H. A.; Tiwari, P. K.; Dhakar, R. 2024. Comparative Analysis of Air Pollution Tolerance Index and Dust Carrying Capacity in *Calotropis procera*, *Polyalthia Longifolia*, and *Nerium oleander L.* from Different Locations. *International Journal of Innovative Arabia. Biosci. Biotech. Res. Comm.* 12(3): 631-636. <https://doi.org/10.21786/bbrc/12.3/12>
- Kanwar, K; Dhamala, M. K.; and Maskey-Byanju R. 2016. Air pollution tolerance index: An approach towards the effective green belt around Kathmandu metropolitan city, Nepal. *Nep J Environ Sci.* 4, 23-29. <https://doi.org/10.3126/njes.v4i0.22721>
- Kim, G.S., Pee, J.H., An, J.H., Lim, C.H., Lee, C.S., 2015. Selection of air pollution tolerant plants through the 20-years-long transplanting experiment in the Yecheon industrial area, southern Korea. *Anim. Cells. Sys* 19, 208-215. <https://doi.org/10.1080/19768354.2015.1033011>
- Kuddus, M.; Kumari, R.; Ramteke, P. W. 2011. Studies on air pollution tolerance of selected plants in Allahabad city, India. *Journal of Environmental Research and Management.* 2(3). 042-046.
- Mahecha, G. S.; Bamniya, B.R.; Nair, N.; Saini, D. 2013. Air Pollution Tolerance Index of Certain Plant Species-A Study of Madri Industrial Area, Udaipur (Raj.), India. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.* 2(12). 7927-7929.
- Mahrukh, M.; Luqman, M.; Sardar, A. A.; Nawaz, H. 2023. Air Pollution Mitigation Potential of Dominant Landscape Plants of an Urban Ecosystem (Lahore City) of Pakistan: An Air Pollution Tolerance Index (APTI) Assessment. *Pol. J. Environ. Stud.* 32(4). 3233-3245. <https://doi.org/10.15244/pjoes/161980>
- Nawaz, R.; Aslam, M.; Nasim, I.; Hussain, F.; Irshad, M.; Ahmad, M.; Latif, M. 2023. Air Pollution Tolerance Index and Heavy Metals Accumulation of Tree Species for Sustainable Environmental Management in Megacity of Lahore. *Air.* 1, 55-68. <https://doi.org/10.3390/air1010004>
- Patel, D.; Kumar, J. I. N. 2018. An Evaluation of Air Pollution Tolerance Index and Anticipated Performance Index of Some Tree Species Considered for Green Belt Development: A Case Study of Nandesari Industrial Area, Vadodara, Gujarat, India. *Open Journal of Air Pollution.* 7, 1-13. <https://doi.org/10.4236/ojap.2018.71001>
- Patil, P. Y., Goud, A. V., Patil, P. P., & Jadhav, K. K. (2023). Assessment of air pollution tolerance index (APTI) and anticipated performance index (API) of selected roadside plant species for the green belt development at Ratnagiri City in the Konkan region of Maharashtra, India. *Environmental monitoring and assessment*, 195(4), 494. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11048-5>
- Rathore, D. S., Kain, T., & Gothalkar, P. 2018. A study of air pollution status by estimation of APTI of certain plant species around Pratapnagar circle in Udaipur city. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 11(1), 33-38.

Zouari, M.; Elloumi, N.; Mezghani, I.; Labrousse, P.; Ben Rouina, B.; Ben Abdallah, F.; Ben Ahmed, C. 2018. A Comparative Study of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Some Fruit Plant Species Growing in the Industrial Area of Sfax, Tunisia. *Pollution*. 4(3): 439-446. <https://doi.org/10.22059/poll.2017.242396.324>

Science and Research Technology. 9(8). 1549-1556. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24AUG1079>

Zahid, A.; Ali, S.; Anwar, W.; Fatima, A., Chattha, M. B.; Ayub, A.; Raza, A.; Ali, K.; Siddique, M. 2023. Assessing the air pollution tolerance index (APTI) of trees in residential and roadside sites of Lahore, Pakistan. *SN Applied Sciences*. 5(294). 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05470-0>