

Assessment of the Sensitivity of Washingtonia and Balanites Trees using Air Pollution Tolerance Index and Anticipated Performance in some Areas of Fezzan, Libya

Ambbarikah M. Nouralddeen^{1,*}  

¹Biotechnology Department, Faculty of Science, Wadi Alshatti University, Libya

ARTICLE HISTORY

Received 19 August 2026
Revised 24 September 2026
Accepted 30 September 2026
Online 06 October 2026

KEYWORDS

Sensitivity;
Tolerance;
Anticipated Performance index;
Air pollution;
Bio-Chemical;
Fezzan;

ABSTRACT

Tree cultivation receives considerable attention due to its role in filtering pollutants, especially in areas which exposed to high levels of various air pollutants, such as urban areas. However, selecting appropriate plant species remains a challenge for decision-makers, raising an important question: Is this tree species sensitive or tolerant to air pollutants? Based on the foregoing, this study aimed to evaluate the Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Anticipated Performance Index (API) for *Washingtonia robusta* and *Balanites aegyptiaca* trees in three regions of Fezzan in southwestern Libya (Sebha, Brack Al-Shatti, and Tessawa). This was achieved by analyzing four parameters: relative water content, leaf extract pH, total chlorophyll, and ascorbic acid concentration, in addition to evaluating the Anticipated Performance Index. The study results showed that the tolerance index of the studied trees fell into the Immediately Tolerant classification. The results proved that the *Washingtonia* tree (24.48) was the best tree tolerant to air pollutants in all studied sites, while the tolerance index for *Balanites* was (18.48). The results of the Anticipated Performance Index (API) confirmed that *Balanites* performed very well compared to the *Washingtonia* tree, which showed a better tolerance index than *Balanites*. This is attributed to the simpler structure of the *Washingtonia* tree and its lower economic and social importance according to the performance index. From these results, it can be concluded that these two trees can be relied upon for cultivation in cities due to their ability to tolerate air pollutants.

تقييم حساسية شجرتي واشنطنونيا والهجليج باستخدام مؤشري تحمل تلوث الهواء والأداء المتوقع في بعض مناطق فزان، ليبيا

امباركة محمد فضل نورالدين^{1,*}

المخلص	الكلمات المفتاحية
تحظى زراعة الأشجار باهتمام كبير لما لها من دور في تصفية الملوثات خاصة في المناطق المعرضة لمستويات عالية من ملوثات الهواء المختلفة مثل المناطق الحضرية. غير أن اختيار الأنواع النباتية المناسبة يظل تحدياً لصناع القرار فسيبرز من هنا سؤال مهم: هل هذا النوع من الأشجار حساس أو متحمل للملوثات الهواء؟ من خلال ما سبق، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم مؤشر تحمل تلوث الهواء (APTI) ومؤشر الأداء المتوقع (API) لشجرتي واشنطنونيا والهجليج في ثلاث مناطق من فزان في الجنوب الغربي من ليبيا (سبها وبراك الشاطئ وتساوا)، وذلك من خلال تحليل أربع معلمات هي المحتوى المائي النسبي ودرجة حموضة مستخلص الأوراق والكلوروفيل الكلي وتركيز حمض الاسكوربيك، إضافة إلى تقييم مؤشر الأداء المتوقع. أظهرت نتائج الدراسة أن مؤشر تحملية الأشجار المدروسة قد وقعت في تصنيف متوسط التحمل Immediately Tolerant. وأثبتت النتائج أن شجرة واشنطنونيا (24.48) كانت أفضل الأشجار المتحملة للملوثات الهواء في كل المواقع المدروسة، بينما كان مؤشر تحمل الهجليج (18.48)، وأكدت نتائج مؤشر الأداء المتوقع API أن الهجليج أعطى أداءً جيداً مقارنة بشجرة واشنطنونيا التي أعطت مؤشر تحمل أفضل من الهجليج وهذا يرجع إلى أن بنية شجرة واشنطنونيا أقل وكذلك قلة الأهمية الاقتصادية والاجتماعية لهذه الشجرة حسب مؤشر الأداء. ويمكن أن نخلص من هذه النتائج أنه يمكن الاعتماد على هاتين الشجرتين في زراعتها في المدن نظراً لقدرتهما على تحمل ملوثات الهواء.	الحساسية التحملة مؤشر الأداء المتوقع ملوثات الهواء بيوكيميائية فزان

التي تواجه الصحة العامة والتوازن البيئي في القرن الحادي والعشرين [3]، ومع تسارع وتيرة الصناعة والنمو السكاني المطرد وزيادة الكثافة المرورية، ارتفعت مستويات ملوثات الهواء مثل الدقائق العالقة والغازات السامة مثل أكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت إلى مستويات خطيرة، مما أسهم في

المقدمة
يعتبر الهواء مورداً ومصدراً مهماً لاستمرار الحياة على كوكب الأرض، فكل الكائنات الحية بحاجة إلى هواء صحي ونقي من أجل نموها وتطورها [1، 2]. يعد تلوث الهواء في البيئات الحضرية والصناعية أحد أكبر التحديات البيئية

*Corresponding author

https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_54

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



واشنطنونيا والهجليج في هذه المنطقة. تُستخدم نخلة الواشنطنونيا (*Washingtonia robusta*) على نطاق واسع في التشجير الحضري نظراً لنموها السريع وقيمها الجمالية، ولكنها تتعرض لتسريبات غبارية هائلة بسبب طبيعة أوراقها المروحية [18]. وفي المقابل، تبرز شجرة الهجليج (*Balanites aegyptiaca*) كنوع محلي متميز بقدرات تكيفية عالية مع الإجهادات البيئية القاسية في المناطق الجافة [19]. إن المقارنة بين هذين النوعين في بيئات متباينة (حضرية وصناعية) تكتسب أهمية بالغة لتحديد الاستراتيجية الأنسب لخطط التشجير المستدام. من هنا جاءت الدراسة بهدف تقييم مؤشر APTI مؤشر الأداء المتوقع API لكلا النوعين من الأشجار واشنطنونيا والهجليج في مناطق حضرية في بعض مناطق فزان وهي سبها وبراك الشاطيء وتساوة (وادي عتبة)، لتوفير رؤى علمية حول الأنواع الأكثر إستدامة وتحملاً وقدرة على تنقية الهواء في ظل التوسع العمراني والصناعي المتزايد.

المواد وطرق العمل

منطقة الدراسة

تم إجراء الدراسة في ثلاث مواقع في الجنوب الغربي من ليبيا وهي عبارة عن مناطق حضرية خلال شهر ابريل 2026، الموقع الأول (S) في مدينة سبها وهي منطقة مكتظة بالسكان وبها حركة مرور كثيفة ويسكنها حوالي 133206 نسمة في تعداد سنة 2006 حسب ما جاء في دراسة [20]، بينما ذكر Al-Talib [21] أن التعداد بلغ 206801 نسمة وفقاً للإسقاط السكاني عام 2025. الموقع الثاني (B) يقع في مدينة براك الشاطيء (60 كم شمال مدينة سبها) في حرم جامعة وادي الشاطيء وتشهد هذه المنطقة حركة مرور كثيفة لكنها تقع بعيداً قليلاً عن الأحياء السكنية وقد ذكر المخزوم [22] أن عدد سكان براك سوف يصل إلى 19300 نسمة. أما الموقع الثالث (T) فيقع في تساوة وهي منطقة من مناطق في بلدية وادي عتبة وأكبرها مساحة حيث تبعد عن مدينة سبها حوالي 180 كم جنوباً وكذلك أكبر كثافة سكانية حيث يسكنها حوالي 7589 نسمة [23].



الشكل 1: خريطة موقع الدراسة

اختيار الأنواع النباتية وجمع العينات

في هذه الدراسة تم اختيار شجرتين متباينتين في الخصائص المورفولوجية والبيئية:

الواشنطنونيا (*Washingtonia robusta*): هي من الأشجار الدخيلة ذات الأوراق العريضة وتعرف بنخلة المروحة المكسيكية، وتزرع هذه الشجرة كنباتات زينة لتجميل الشوارع والمناظر الطبيعية والحدائق، وتنتشر بشكل

تدهور جودة الهواء بشكل ملحوظ [4، 5]. وفي هذا السياق، تلعب النباتات دوراً محورياً كمرشحات حيوية Bio-filters قادرة على امتصاص وترسيب الملوثات الجوية، مما تسهم في تحسين جودة الهواء الحضري [6]. إن الغطاء النباتي (من شجيرات وأشجار) في المناطق الحضرية يعتبر وسيلة مهمة للتخفيف من الآثار السلبية لتلوث الهواء خاصة في المناطق المكتظة بالسكان [7، 8]. تعمل هذه المساحات الخضراء كمرشحات طبيعية، حيث تقوم باعتراض الملوثات وبالتالي توفر حلولاً فعالة من حيث التكلفة لمكافحة تلوث الهواء الناجم عن المركبات الآلية أو أي مصدر آخر [6، 9]. وعلى الرغم من أن الأبحاث الحديثة تُبرز الفوائد الجمة للأشجار في خفض تركيزات الملوثات، إلا أنه لا تزال هناك فجوة ملحوظة في معرفة الآليات المحددة الكامنة وراء فعاليتها، لا سيما في المناطق الحضرية ذات الحركة المرورية الكثيفة. وفي الحقيقة تعتمد فعالية الغطاء النباتي على اختيار الأنواع المناسبة ومدى تحملها للملوثات الهواء. وفي المقابل قد يؤدي اختيار أنواع نباتية غير مناسبة إلى الإضرار بأداء الترشيع وتفاقم مشكلة التعرض للتلوث [10].

ومع ذلك، فإن كفاءة الأشجار في القيام بهذا الدور تعتمد بشكل كلي على قدرتها الفسيولوجية على تحمل ضغوط ملوثات الهواء؛ حيث تؤدي الملوثات الجوية إلى إحداث تغيرات كيميائية حيوية في أوراق النبات تشمل انخفاض محتوى الكلوروفيل، واختلال التوازن المائي، وتغير الرقم الهيدروجيني للعصارة الخلوية [11]. ويُعد مؤشر تحمل تلوث الهواء Air Pollution Tolerance Index (APT) من الأدوات العلمية الأكثر موثوقية لتقييم استجابة النباتات، حيث يجمع بين أربع معلمات حيوية أساسية في معادلة رياضية واحدة لتحديد مدى مقاومة أو حساسية الأنواع النباتية [12]. تعتبر النباتات الأكثر تحملاً، وفقاً لمؤشر APT، مناسبة للبيئة الحضرية للحد من تلوث الهواء، وأيضاً يستخدم مؤشر الأداء المتوقع Anticipated performance index (API) لتقدير مدى ملائمة أنواع الأشجار المختلفة لتكوين الأحزمة الخضراء [13]. يعتمد مؤشر الأداء المتوقع على عدد من الخصائص الاجتماعية والاقتصادية والبيولوجية، مثل ارتفاع النبات، وبنية الغطاء النباتي، وحجم النبات، وصلابته، وملامسه [14]. بينما يُقيّم مؤشر APT تأثيرات ملوثات الهواء على الملامح البيوكيميائية للنباتات، لذلك يُستخدم مؤشر API لتقييم قدرة الأنواع السائدة على تنقية الهواء من الملوثات. وفي هذا السياق، بين [15] Govindaraju et al. أنه من أجل تصميم وأنشاء أحزمة خضراء لمكافحة تلوث الهواء، فإن مؤشر الأداء المتوقع يعتبر اختياراً موفقاً، وهو ما ينعكس في بعض الخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية للنباتات. لذا، يُعد مؤشر API أكثر فعالية من مؤشر APT. إن استخدام أي معيار منفرد لتحديد حساسية أي نبات لتلوث الهواء قد لا يُعطي صورة واضحة عن تأثير ملوثات الهواء على أنواع النباتات. لذا، يُستخدم تقييم مؤشري APT و API معاً لتصنيف الأشجار إلى حساسة Sensitive أو متحملة Tolerant [16].

من خلال الاضطلاع على الدراسات السابقة تبين أن مثل هذه الدراسة قليلة جداً في ليبيا إلا بعض الدراسات التي أجريت في بلدية براك الشاطيء على أشجار النخل والسرول والزيتون والأثل والدودونيا [17]، وأشجار الدفلة والسدر والتيكوما [16]، وقد أتضح عدم وجود دراسة عن شجرتي

الجدولين 2 و 3. ولهذا الغرض، تم حساب درجة مؤشر الأداء المتوقع باستخدام المعادلة (2) التالية لتصنيف النباتات إلى فئات تقييم مختلفة [33].

التحليل البيوكيميائية

لتقدير مؤشر تحملية الأشجار تجاه ملوثات الهواء APTI تم تقدير أربع معلمات بيوكيميائية وهي المحتوى المائي النسبي ودرجة حموضة مستخلص الأوراق، الكلوروفيل الكلي، وتركيز حمض الأسكوربيك. تم قياس درجة حموضة مستخلص الأوراق (pH) باستخدام جهاز قياس pH من نوع LaMotte وذلك وفقاً لما ذكره [28] *Shrestha et al.*. أما المحتوى المائي النسبي (RWC) فتم تقديره عن طريق قياس الأوزان الثلاثة: الوزن الطازج (FW)، ثم الوزن بعد التشبع بالماء لمدة 24 ساعة (TW)، ثم الوزن الجاف (DW) بعد التجفيف في فرن التجفيف على درجة حرارة 105 لمدة ساعتين حسب الطريقة التي ذكرها [29] *Zahid et al.*. وفي ذات الجانب العملي، تم تقدير الكلوروفيل الكلي (TCh) باستخدام جهاز الامتصاص الضوئي Spectrophotometer من نوع JENWAY 6305 وذلك وفقاً للطريقة التي اعتمد عليها [30] *Hanif et al.*، كذلك تم تقدير تركيز حمض الأسكوربيك (ASC) ذلك طبقاً للطريقة التي بينها [31] *Hussain et al.*.

حساب مؤشر تحمل تلوث الهواء APTI Calculation

تم حساب مؤشر تحمل تلوث الهواء APTI باستخدام المعلومات الأربعة السابقة والتعويض بها في المعادلة (1) كما جاء في [32] *Nawaz et al.* كما يلي:

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

الجدول 2: خصائص التقييم API وفقاً للتحملية APTI والخصائص الفسيولوجية والخصائص الاقتصادية-الاجتماعية

التقييم	الخاصية Characters	نمط التقييم	الدرجة الممنوحة
التحملية Tolerance	APT	9.5 – 0.5	+
		19.5 – 9.5	++
		29.5 – 19.5	+++
		39.5 – 29.5	++++
		49.5 – 39.5	+++++
بيولوجية واجتماعية-اقتصادية Biological & Socioeconomic	موطن النبات	صغير	-
	Plant Habit	متوسط	+
	(PH)	كبير	++
	هيكل المظلة	متفرق/غير منظم/كروي	-
	Canopy	تاج منتشر/مفتوح/شبه	+
	Structure (CS)	كثيف	++
	نوع النبات of Plant (TP)	انتشار كثيف	++
		غير دائمة الخضرة	-
		دائمة الخضرة	+
		صغير	-
هيكل الصفوي Laminar Structure	الحجم (S)	متوسط	+
		كبير	++
	النسيج Texture (T)	ناعم	-
		جلدي	+

واسع خاصة في كاليفورنيا وشمال غرب المكسيك وفي منطقة البحر الأبيض المتوسط، وأجزاء من أستراليا، وبعض المناطق الدافئة الأخرى حول العالم. [24]. تتميز مورفولوجيا بأوراقها المروحية الكبيرة التي توفر مساحة سطحية واسعة تعمل كمصائد حيوية فعالة لاحتجاز الجسيمات الغبارية العالقة من الجو، مما يجعلها أداة طبيعية لتحسين جودة الهواء في المدن المزدحمة [25].

الهليلج (*Balanites aegyptiaca*): هي أشجار ذات أوراق صغيرة وشمعية وتعرف بنخلة الصحراء أو تمر العبيد، وهي أكثر الأشجار استدامة وصموداً في النظم البيئية الجافة وشبه الجافة، وهي شجرة متعددة الأغراض تنتمي للفصيلة الرطريطية Zygophyllaceae. تتميز مورفولوجيا بجذعها المتفرع وأغصانها التي تحمل أشواكاً خضراء طويلة وحادة، وأوراقها الثنائية الفصيصات المغطاة بطبقة شمعية (Cuticle) سمكية تقلل من فقدان المياه وتعمل كدروع واقية ضد الجزيئات الملوثة [26]. تتميز الشجرة بنظام جذري عميق ولحاء سميك؛ فهي من الأنواع المقاومة للجفاف ولا تتضرر من حرائق الأعشاب. ورغم أنها لا توجد في الطبيعة في المناطق التي تغمرها مياه الأنهار بانتظام، إلا أن الأشجار البالغة تتحمل الغمر بالمياه لمدة شهر أو شهرين سنوياً [27].

جمع العينات: تم جمع عينات الأوراق في فصل الربيع خلال شهر أبريل في ساعات الصباح الباكر (8:00 - 9:00 صباحاً). تم أخذ عينات مكررة من كل نوع الأشجار في كل موقع من مواقع الدراسة، ومن ارتفاع متساوٍ (1.5 - 2 متر) لضمان التجانس. وضعت العينات فوراً في أكياس ونُقلت إلى المختبر للتحليل.

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

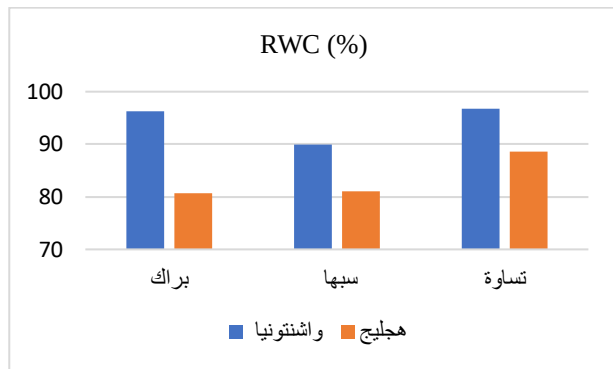
$$APT I = \frac{ASC(TCh + pH) + RWC}{10} \quad (1)$$

الجدول 1: تصنيف الأشجار بناءً على قيم APTI

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

حساب مؤشر الأداء المتوقع (API)

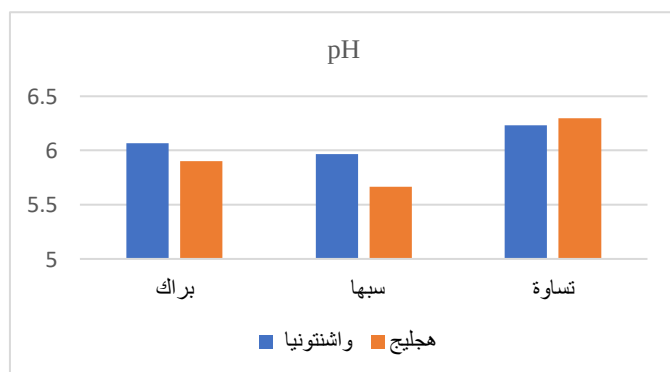
يصنف مؤشر الأداء المتوقع (API) أنواع النباتات وفقاً لمستويات التلوث المختلفة، وذلك بناءً على إمكاناتها. ويشمل هذا المؤشر مستوى تحمل التلوث (APT I)، والخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية socio-economic، والخصائص النسيجية laminar للنباتات. يُحدد مؤشر APT I مدى تحمل الأنواع للتلوث، في حين تشمل الخصائص 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 فئة تقييم مؤشر الأداء المتوقع، كما هو موضح في



الشكل 2: المحتوى المائي النسبي لأوراق شجرتي واشنطونيا والهجليج

درجة حموضة مستخلص الأوراق

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن متوسط حموضة مستخلص الأوراق بلغ 0.24 ± 6.02 ، حيث كانت أوراق شجرة الهجليج أكثر حموضة من أوراق شجرة واشنطونيا، 0.30 ± 5.95 و 0.14 ± 6.08 ، على التوالي، في حين كان الأشجار في سبها أقل حموضة (5.82)، وبرك (5.98) وتساوة (6.27) أنظر الشكل 3، وهو ما بينه *Lekshmi et al.* [39] حيث أوضحوا أن الأشجار في المناطق المكتظة بالسكان والكثافة المرورية العالية تحظى بقيمة pH أقل من المناطق الأقل اكتظاظاً. وهذه النتائج متوافقة أيضاً مع دراسة *Choudhary et al.* [40] الذين أوضحوا أن ألاس الهيدروجيني في المناطق الملوثة هي أقل من المناطق الأقل تلوثاً. 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 مقارنة بالنباتات المتحملة [17، 41]. وبين *Sadia et al.* [42] أن النباتات ذات الحموضة المنخفضة تكون أكثر عرضة للتأثر، بينما تلك التي يكون لها درجة حموضة مرتفعة في حدود 7 فإنها تحظى بمستوى جيد من التحمل. أن التغيرات في خصائص مستخلص الأوراق سوف يؤثر على حساسية الثغور تجاه تلوث الهواء، فالأنواع التي أظهرت حموضة في مستخلصاتها ربما يُعزى إلى وجود ملوثات مثل ثاني أكسيد الكبريت SO_2 وأكاسيد النيتروجين NO_x في الهواء المحيط، مما يتسبب في تحول الأس الهيدروجيني لعصارة الأوراق نحو الجانب الحمضي. بينت نتائج التحليل الإحصائي عدم وجود فروق معنوية في قيم الرقم الهيدروجيني بين المواقع الثلاثة المدروسة، حيث بلغت قيمة F الفرضية $F(1, 16) = 1.436$ وقيمة $p = 0.248$ مما يعني أن قيم pH وتجانسها بين مواقع الدراسة لم تتأثر بتغير المواقع.



الشكل 3: حموضة مستخلص أوراق شجرتي واشنطونيا والهجليج

-	محدد	الصلابة
+	قوي	Hardness (H)
-	أقل من ثلاث استخدامات	القيمة الاقتصادية
+	3 أو 4 استخدامات	Economic
++	5 أو أكثر	Value (EV)

الجدول 3: تصنيف النباتات بناءً على درجة مؤشر الأداء البيئي (API) الخاصة بها

الدرجة	النتيجة %	الفئات
0	$30 \geq$	غير مستحسن
1	40-31	ضعيف جداً
2	50-41	ضعيف
3	60-51	متوسط
4	70-61	جيد
5	80-71	جيد جداً
6	90-81	ممتاز
7	100-91	أفضل

التحليل الإحصائي

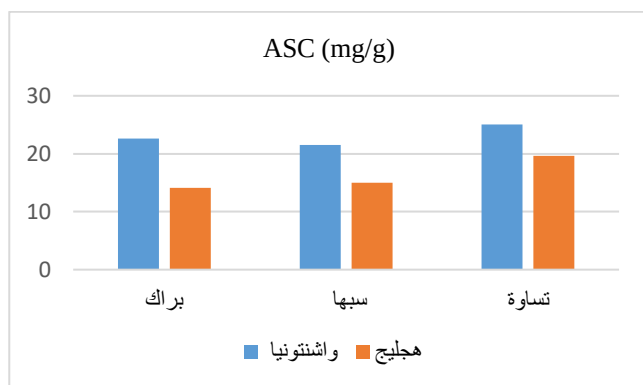
باستخدام برنامج SPSS v. 21 تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري، وكذلك أُجري اختبار تحليل التباين أحادي الاتجاه (ANOVA) لتقييم متوسط التباين بين مجموعات العينات.

النتائج والمناقشة

المحتوى المائي النسبي

تم تقدير المحتوى المائي النسبي لأوراق شجرتي واشنطونيا والهجليج، والنتائج المتحصل أظهرت أن المتوسط بلغ $6.64 \pm 88.87\%$ ، وأن المحتوى المائي النسبي في شجرة واشنطونيا أعلى منه في شجرة الهجليج حيث كان $3.44 \pm 94.30\%$ و $3.94 \pm 83.44\%$ ، على التوالي. وبينت النتائج أن المدى تراوح ما بين 80.17 إلى 98.12% . الشكل 2 يوضح أن المحتوى المائي في تساوة أكبر في كلا الشجرتين، في حين كان أقل محتوى وجد في عينات سبها ثم برأك، ويمكن تفسير ذلك على تأثير ملوثات الهواء، حيث تعتبر منطقة تساوة منطقة صغيرة ذات تعداد سكاني أقل مقارنة بسبها وبرأك، ويمكن أن يعزى الانخفاض في المحتوى المائي النسبي إلى تلوث الهواء؛ حيث يؤدي التلوث إلى زيادة نفاذية البروتوبلازم، مما يؤثر على فقدان المياه والعناصر الغذائية من أوراق النبات ويؤدي بالتالي إلى ظاهرة الشيخوخة المبكرة *senescence*. وتعمل هذه الملوثات على عرقلة مسار سحب المياه من الجذور إلى الأوراق، مما يعيق معدل النتج، وعملية تبريد الأوراق، وانتقال المعادن [34]. إضافة لذلك، يساهم المحتوى المائي النسبي (RWC) في تعزيز مقاومة النبات لظروف الإجهاد الناجم عن الجفاف [35]، حيث يساعد توفر كمية كافية من الماء داخل النباتات في الحفاظ على توازنها الفسيولوجي أثناء تعرضها للإجهاد، كما في حالة تلوث الهواء [36]. إلى جانب آخر، يعد ارتفاع المحتوى المائي في ظل ظروف الإجهاد مؤشراً على قدرة بعض أنواع النباتات على التحمل [37، 38]. أشارت النتائج الإحصائية إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية عالية جداً في المحتوى المائي النسبي لعزى لعامل الموقع، حيث بلغت قيمة الفروق $F(1, 16) = 38.647$ ، وبمستوى دلالة $p < 0.001$. تعكس هذه القيمة العالية التباين بين المواقع أكبر بكثير من التباين داخل الموقع نفسه، مما يؤكد تأثير المحتوى المائي النسبي بالخصائص البيئية والمائية الخاصة بكل موقع.

الأشجار قيد الدراسة. وقد ذكر [39] Lekshmi et al. أن هذا الحمض يعتبر عنصراً مهماً في بناء جدران الخلايا النباتية، وتثبيت الكربون أثناء عملية التمثيل الضوئي، وانقسام الخلايا، وأيضاً يعمل كمضاد أكسدة طبيعي يحمي الأنسجة النباتية من الآثار الضارة للملوثات الهوائية؛ لذلك فارتفاع تركيز حمض الأسكوربيك في أوراق الأشجار يجعله أكثر تحملاً لملوثات الهواء. من النتائج المتحصل عليها في الدراسة الحالية نجد أن المواقع الملوثة تظهر كمية أقل من حمض الأسكوربيك؛ ولذلك، يمكن القول إن هذه الأنواع الموجودة في المناطق الملوثة تعيش في ظروف مجهدّة أكثر من تلك الموجودة في المناطق القروية وهذه النتائج متوافقة مع نتائج Rabbani et al. [41]. وفي هذا الصدد، أثبت تحليل التباين وجود تأثير جوهري ومعنوي على مستويات حمض الاسكوربيك عند مستوى معنوية $P < 0.05$ وهذا يدل على أن الاختلافات بين مواقع الدراسة قد أدت إلى تباين مستويات هذا الحمض.



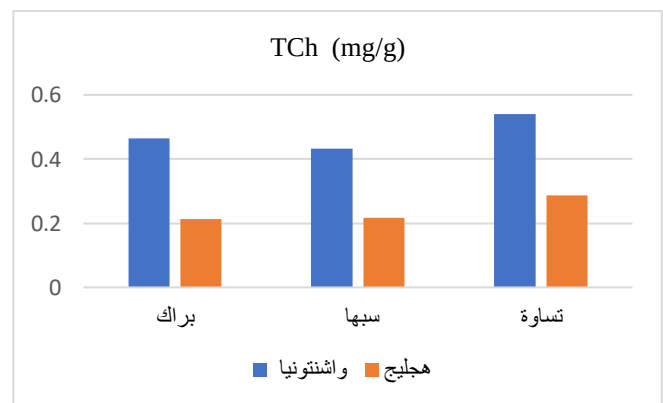
الشكل 5: محتوى حمض الاسكوربيك لشجرتي واشنطونيا والهجليج

مؤشر تحملية ملوثات الهواء

الجدول 4 يوضح نتائج مؤشر التحميلة APTI لشجرتي واشنطونيا والهجليج وذلك من خلال نتائج تحليل أربع معلمات (المحتوى المائي النسبي، الاس الهيدروجيني لمستخلص الأوراق، الكلوروفيل الكلي و حمض الاسكوربيك)، ومن خلال المعادلة 1 تم تقدير مؤشر تحميلة. وعلى الرغم من أن جميع النتائج وقعت ضمن متوسط التحمل Immediately Tolerant إلا أن هذه النتائج بينت أن الأشجار المزروعة في موقعي سبها وبرك كانت أقل من منطقة تساوة، حيث أن الأشجار المزروعة في هاتين المنطقتين أكثر عرضة للتلوث المنبعث من المركبات الآلية المختلفة، بينما الموقع الثاني وهي منطقة قروية لا تتعرض فيها الأشجار لكمية كبيرة من ملوثات الهواء. النتائج أكدت التحليل الاحصائي الذي أظهر أن مؤشر APTI في سبها كان أقل حيث كان 19.87 وفي برك كان 20.36 أما في تساوة كان أعلى حيث سجل 24.21. من الجدول نلاحظ أن شجرة واشنطونيا أبدت قدرة عالية على مقاومة ملوثات الهواء فقد كان المؤشر وهو ما يثبت أن هذه الشجرة لها قدرة عالية على مقاومة الانثار السلبية للملوثات الهوائية. إن شجرة واشنطونيا من النوع الذي يمتلك مرونة في الحفاظ على المحتوى المائي النسبي (RWC) واستقرار الكلوروفيل تحت ضغوط ملوثات الهواء الناتجة عن عوادم السيارات، مما يمنحها قيمة عالية في حسابات مؤشر تحمل تلوث الهواء (APTI) مقارنة بأنواع النخيل الأخرى [4]. نتائج هذه الدراسة جاءت متوافقة مع دراسة [43] من أن شجرة واشنطونيا تتمتع بمستوى تحمل تجاه ملوثات الهواء. ومن ناحية أخرى، أظهرت الأبحاث أن للهجليج كفاءة عالية في العمل ك

محتوى الكلوروفيل الكلي

أظهرت نتائج الكلوروفيل الكلي في هذه الدراسة أن المتوسط بلغ 0.13 ± 0.35 ملجم/جم، حيث كان متوسط الكلوروفيل في شجرتي واشنطونيا والهجليج 0.06 ± 0.48 و 0.04 ± 0.24 ملجم/جم، على التوالي. الشكل 4 يبين أن متوسط الكلوروفيل في منطقة تساوة أعلى حيث كان 0.14 ± 0.41 ملجم/جم، بينما بلغ 0.14 ± 0.34 ملجم/جم في براك و 0.12 ± 0.33 ملجم/جم في سبها. يعتبر الكلوروفيل مؤشراً مهماً على إنتاجية النبات؛ حيث يدل محتواه على قدرة النبات على عملية التمثيل الضوئي ونموه بشكل جيد، لكن محتوى الكلوروفيل يختلف باختلاف نوع النبات وعمر الأوراق ومستوى التلوث والظروف الحيوية وغير الحيوية. وعند التطرق للملوثات فإن بعض الملوثات تزيد من محتواه بينما تسبب ملوثات أخرى في خفض محتوى الكلوروفيل [36]. يؤدي تلوث الهواء إلى تحلل أصباغ التمثيل الضوئي. ويُعد الكلوروفيل نتاجاً أيضاً مرتبطاً بحالة الإجهاد، إذ يسهم في تعزيز قدرة النبات على تحمل التلوث [39]. وتسبب التركيزات العالية من ملوثات الهواء في استبدال أيونات المغنيسيوم الموجودة في جزيء الكلوروفيل بذرتي هيدروجين، مما يحوله إلى جزيء الفيوبيتين pheophytin [40]. وفي هذه الدراسة، يُحتمل أن تكون التركيزات المرتفعة من ملوثات مثل ثاني أكسيد النيتروجين والأوزون والجسيمات الدقيقة قد تسببت في تخریب البنية الحيوية للبلاستيدات الخضراء، مما أدى إلى انخفاض محتوى الكلوروفيل في مواقع مثل سبها وبرك مقارنة بموقع تساوة. وهذه النتائج قد أكدت نتائج التحليل الاحصائي حيث كان محتوى الكلوروفيل أعلى تبايناً ($p < 0.05$) مما يؤكد على أن الموقع له دور مهم جداً في تحديد كفاءة ومحتوى الكلوروفيل الكلي.



الشكل 4: محتوى الكلوروفيل الكلي لشجرتي واشنطونيا والهجليج

حمض أسكوربيك

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن متوسط حمض الاسكوربيك في هذه الدراسة بلغ 4.09 ± 19.58 ملجم/جم، حيث كان أقل تركيز 12.98 ملجم/جم وأعلى تركيز بلغ 25.80 ملجم/جم. وبينت النتائج كذلك أن متوسط محتوى الحمض كان أقل في شجرة الهجليج (2.72 ± 16.26 ملجم/جم) بينما كان أعلى في شجرة واشنطونيا (1.86 ± 22.89 ملجم/جم). إضافة لذلك، أظهر موقع براك أقل قيمة متوسط ثم تلاه موقع سبها، بينما أظهر موقع تساوة أعلى تركيز (شكل 5)، ويمكن أن يعزى سبب ذلك إلى تأثير الملوثات والتي ربما تؤثر على محتوى هذا الحمض في أوراق

الاستنتاجات والتوصيات

أجريت هذه الدراسة لتقييم مؤشر تحمل شجرتي واشنطونيا والهجليج تجاه ملوثات الهواء في ثلاث مناطق في الجنوب الغربي من ليبيا، حيث تم تقدير أربع معلمات بيوكيميائية هي المحتوى المائي النسبي درجة حموضة مستخلص الأوراق والكلوروفيل الكلي وتركيز حمض أسكوربيك. وخلصت النتائج ان المحتوى المائي النسبي في شجرة واشنطونيا أعلى من شجرة الهجليج، أما درجة حموضة أوراق الأشجار المدروسة حيث كانت أوراق شجرة الهجليج أكثر حموضة من أوراق شجرة واشنطونيا، في حين كان الأشجار في سها أقل حموضة من براك وتساوة. وبينت نتائج الكلوروفيل الكلي في هذه الدراسة أن محتوى الكلوروفيل الكلي كان أعلى في شجرتي واشنطونيا مقارنة بشجرة الهجليج وأن الكلوروفيل الكلي في منطقة تساوة أعلى من المناطق الأخرى. أما نتائج حمض الاسكوربيك أن محتواه كان أقل في شجرة الهجليج، في حين أظهر موقعي براك وسها أقل مقارنة بموقع تساوة. إن جميع النتائج APTI وقعت ضمن متوسط التحمل Immediately Tolerant إلا أن هذه النتائج بينت أن الأشجار المزروعة في موقعي سها وبراك كانت أقل من منطقة تساوة، ذلك لأن هذه الأشجار المزروعة في هاتين المنطقتين أكثر عرضة للتلوث المنبعث من المركبات الآلية المختلفة، بينما الموقع الثاني (تساوة) وهي منطقة قروية لا تتعرض فيها الأشجار لكمية كبيرة من هذه الملوثات. وأظهر مؤشر الأداء المتوقع أن أداء شجرة الهجليج كان جيد جدا (75%)، أعطت هذه الشجرة أفضل نتيجة بناءً على أدائها من حيث مؤشر APTI والخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية، وجاءت شجرة واشنطونيا ثانياً في التصنيف فهي أيضاً شجرة أبدت أداءً جيداً (62.5%)، وعلى الرغم من أن نتائج APTI لشجرة واشنطونيا أعلى من الهجليج إلا أن معدل الأداء لها كان أقل وهذا راجع إلى بنية هذه الشجرة وقلة فائدتها الاقتصادية والاجتماعية. نتائج هذه الدراسة أثبتت ان الأشجار التي لها مؤشر APTI عالي غالباً لا تتميز بأداء جيد في المناطق الملوثة مثل الطرق السريعة والمناطق الصناعية وهذه النتيجة توافقت مع نتائج كل من [45] Patel & Kumar، و [46] Amujiri et al.,.

Author Contributions: Nouralddeen: Conceptualization, methodology, mathematical analysis; Writing, editing and review —original manuscript. Author has read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: "This research received no external funding."

Data Availability Statement: "No data were used to support this study."

Acknowledgments: "The author would like to express her appreciation to Dr. Fadel Binyehmed and Mr. Masoud Abo-Setah

References

"مراكم حيوي" للملوثات، حيث تلعب مركباتها الثانوية مثل الصابونين ومضادات الأكسدة القوية دوراً حاسماً في معادلة الإجهاد التأكسدي الناتج عن ملوثات الهواء مما يجعلها تصدر قوائم الأشجار المحتملة حسب تصنيف مؤشر APTI خاصة في المناطق الصناعية. [39، 44]

الجدول 4: نتائج مؤشر تحمل ملوثات الهواء لشجرتي واشنطونيا والهجليج

الموقع	النبات	APTI	مستوى التحمل
براك	واشنطونيا	24.042	متوسط التحمل
	هجليج	16.696	متوسط التحمل
سها	واشنطونيا	22.793	متوسط التحمل
	هجليج	16.948	متوسط التحمل
تساوة	واشنطونيا	26.619	متوسط التحمل
	هجليج	21.791	متوسط التحمل

مؤشر الأداء المتوقع

نتائج مؤشر API المجدولة في الجدول 5 تظهر أن أداء شجرة الهجليج في منطقة الدراسة كان جيد جداً حيث كانت النتيجة 75%. ويمكن ملاحظة أن هذه شجرة أعطت أفضل نتيجة بناءً على أدائها من حيث مؤشر APTI والخصائص البيولوجية والاجتماعية والاقتصادية، وجاءت شجرة واشنطونيا ثانياً في التصنيف فهي أيضاً شجرة أبدت أداءً متوسطاً حيث كانت النتيجة 56.25%. وعلى الرغم من أن نتائج APTI لشجرة واشنطونيا أعلى من الهجليج إلا أن معدل الأداء لها كان أقل من الهجليج وهذا راجع إلى بنية هذه الشجرة وقلة فائدتها الاقتصادية والاجتماعية. نتائج هذه الدراسة أثبتت ان الأشجار التي لها مؤشر APTI عالي غالباً لا تتميز بأداء جيد في المناطق الملوثة مثل الطرق السريعة والمناطق الصناعية وهذه النتيجة توافقت مع نتائج كل من [45] Patel & Kumar، و [46] Amujiri et al.,.

الجدول 5: نتائج مؤشر الأداء المتوقع (API) لشجرتي واشنطونيا والهجليج

النبات	واشنطونيا	الهجليج
APTI	+++	++
PH	+	++
CS	+	++
TP	+	+
S	+	++
T	+	+
H	+	+
EV	-	+
الدرجة	مجموع +	12
المخصصة	النتيجة %	75
التصنيف	متوسط	جيد جداً

- [1] M. Zouari, et al. "A Comparative Study of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Some Fruit Plant Species Growing in the Industrial Area of Sfax, Tunisia." *Pollution*, vol. 4, no. 3, pp. 439-446, 2018. <https://doi.org/10.22059/poll.2017.242396.324>
- [2] N. Fathi, K. Aissa, and S. Alsadi. "Air Pollution Sources in Libya." *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Science*, vol. 6, no. 1, pp. 62-79, 2018. https://www.researchgate.net/publication/323526028_Air_Pollution_Sources_in_Libya
- [3] J. Thompson. "Urban Green Infrastructure and Its Impact on Air Quality in Densely Populated Cities." *OTS Canadian Journal*, Vol. 4, no. 7, pp. 45-55, 2025.

- <https://doi.org/10.58840/jw5ph402>
- [4] M. Yadav. "Vehicular Emissions and their Contribution to Urban Air Pollution." *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, vol. 3, no. 4, pp. 202-208, 2024 <https://doi.org/10.55544/jrasb.3.4.25>
 - [5] N. Fathi, K. Aissa, and S. Alsadi. "Estimation of Environmental Damage costs from CO₂e Emission in Libya and the revenue from Carbon Tax Implementation." *Low carbon Economy*, vol. 8, pp. 118-132, 2017. <https://doi.org/10.4236/lce.2017.84010>
 - [6] M. Steinparzer, J. Schaubmayr, D. Godbold, and B. Rewald. "Particulate matter accumulation by tree foliage is driven by leaf habit types, urbanization- and pollution levels." *Environmental Pollution*, vol. 335, no. 15, pp. 122289. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122289>
 - [7] P. Deshmukh, V. Isakov, A. Venkatram, B. Yang, K. Zhang, R. Logan, and R. Baldauf. "The effects of roadside vegetation characteristics on local, near-road air quality." *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 12, pp. 259-270. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0651-8>
 - [8] F. Ferrini, A. Fini, Mori, J., and Gori, A. "Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context." *Sustainability*, vol. 12, no. 10, pp. 4247. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12104247>
 - [9] A. Wania, M. Bruse, N. Blond, and C. Weber. "Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations." *Journal of Environmental Management*, vol. 94, no. 1, pp. 91-101. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.036>
 - [10] A. Asif, and W. Ma. "Assessing the Air Pollution Tolerance Index of Urban Plantation: A Case Study Conducted along High-Traffic Roadways." *Atmosphere*, vol. 15, pp. 659. 1-18. 2024. <https://doi.org/10.3390/atmos15060659>
 - [11] A. Umar, P. Singh, U. Garu, H. Ibrahim, P. Tiwari, and R. Dhakar. "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 Science and Research Technology*, vol. 8, no. 9, pp. 1549-1556. 2024. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24AUG1079>
 - [12] P. Sharma, A. Chauhan, Z. Shicheng, M. Singh, P. Sharma, et al. "Utilizing the Air Pollution Tolerance Index as a Bioindicator for Monitoring Urban Air Quality." *ES Energy & Environment*, vol. 31, no. 1985, pp. 1-15. 2026. <https://dx.doi.org/10.30919/ee1985>
 - [13] S. Chaudhry, and J. Panwar. "Evaluation of Air Pollution Status and Anticipated Performance Index of some Tree Species for Green Belt development in the holy city of Kurukshetra, India." *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, vol. 2, no. 9, pp. 269-277. 2016. <http://www.ijirst.org/articles/IJIRSTV2I9050.pdf>
 - [14] M. Kumar, A. Nag, B. Sinha, and H. Gupta. "Estimation of Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Anticipated Performance Index (API) of Selected Tree Species in Santiniketan, Birbhum, West Bengal, India." *Plant Archives*, vol. 20, no. 2, pp. 8183-8188. 2020. <https://www.researchgate.net/publication/347549881>
 - [15] M. Govindaraju, R. S. Ganeshkumar, V. R. Muthukumaran, and P. Visvanathan. "Identification and evaluation of air-pollution tolerant plants around lignite-based thermal power station for greenbelt development." *Environmental Science and Pollution. Research International*, vol. 19, no. 4, pp. 1210-1223, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0637-7>
 - [16] F. Binyehmed, and A. Nouralddeen. "Biomonitoring of Selected Trees Using Air Pollution Tolerance Index and Anticipated Performance Index in Brack Al-Shatti, Libya." *Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. A49- 57, Apr. 2026, <https://doi.org/10.63359/5wh1hw22>
 - [17] F. Binyehmed, I. Alshareef, and H. Tamr. "Evaluation of Air Pollution Tolerance Index of certain Trees Growing in two areas in Brack Al-Shatti, Libya." *Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 12-18, 2025, <https://doi.org/10.63359/65f5dh06>
 - [18] D. Spennemann. "Palms fanning out: a review of the ecological provisioning services provided by *Washingtonia filifera* and *W. robusta* in their native and exotic settings." *Plant Ecology & Diversity*, vol. 13, no. (3-4), pp. 289-324, 2020. <https://doi.org/10.1080/17550874.2020.1819465>
 - [19] D. Dougabka, T. Bianzeube, W. Djonglibet, J. Gérard, K. Candelier, and G. Alban. "Analysis of *Balanites aegyptiaca* wood extractives and their variation across different ecological zones." *Applied Chemical Engineering*, vol. 7, no 3, pp. 1-9, 2024. <https://10.59429/ace.v7i3.5550>
 - [20] M. Inweer. "The Importance of Green Belts for Desert Cities and the Possibility of Their Development Using Treated Wastewater (A Case Study of Sebha City)." *Fezzan University Scientific Journal*, pp. 169-179, 2026. <https://fezzanu.edu.ly/fusj/index.php/FUAJ/article/view/790>
 - [21] F. Al-Talib. "Geospatial Analysis of the Distribution of Public Secondary Education Institutions in the City of Sabha." *Journal of Libya for Geographical Studies*, vol. 6, no. 1, pp. 465-494, 2026. <https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3769>
 - [22] O. Almakhoum. "Assessment of the Adequacy of Primary Education Institutions in the City of Brak." *Wadi AlShatti University Journal of Human Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 51-62, 2025. <https://waujhs.com.ly/index.php/waujhs/article/download/23/11/19>
 - [23] A. Alzubayr. "Spatial Analysis of Domestic use Water Wells in Wadi Attaba Area." *Humanities & Natural Sciences Journal*, vol. 5, no. 10, pp. 235-252, 2024. <https://doi.org/10.53796/hnsj510/13>
 - [24] Y. Coşkuner, and A. Gökbudak. "Dimensional specific physical properties of fan palm fruits, seeds and seed coats (*Washingtonia robusta*)." *International Agrophysics*, vol. 30, no. 3, pp. 301-309, 2016. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0004>
 - [25] N. Selim, M. El-Hawary, S. El Zalabani, S. Shamma, R. Mahdy, N. Sherif, and N. Youssif. "Washingtonia robusta H. Wendl Leaf Metabolites Potentiate the Radiosensitivity of Hepatocellular Carcinoma Through Ki67 and PARP Inhibition." *Integrative Cancer Therapies*, vol. 24, pp. 1-17, 2025. <https://10.1177/15347354241308858>
 - [26] M. Sagna, K. Niang, A. Guisse, and D. Goffner. "Balanites aegyptiaca (L.) Delile: geographical distribution and ethnobotanical knowledge by local populations in the Ferlo (north Senegal)." *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, vol. 18, no 4, pp. 503-511, 2014. <https://hal.science/hal-01722629>
 - [27] E. Faris. "Investigation on the Decline of *Balanites aegyptiaca* (Heglig) tree Associated with the Cerambycid Beetle, *Macrotoma palmata*, in the Blue Nile area – Middle Region of Sudan." *Journal of Science and Technology*, vol. 12, no. 4, December 2011. <http://repository.sustech.edu/handle/123456789/16240>
 - [28] S. Shrestha, B. Baral, N. B. Dhital, and H. Yang. "Assessing air pollution tolerance of plant species in vegetation traffic barriers in Kathmandu Valley, Nepal." *Sustainable Environment Research*, vol. 31, no. 3, pp. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00076-2>
 - [29] A. Zahid, S. Ali, W. Anwar, A. Fatima, M. Chattha, A. Ayub, A. Raza, K. Ali, and M. Siddique. "Assessing the air pollution tolerance index (APTI) of trees in residential and roadside sites of Lahore, Pakistan." *SN Applied Sciences*, vol. 5, no. 294, pp. 1-11, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05470-0>
 - [30] H. Hanif, S. Muhammad, H. Yang, M. Awan, S. Ahmed, M. Tayyab, M. Majeed, S. Faisal, and Z. Khan. "Biological Evaluation of Air Quality of an Urban Ecosystem through Air Pollution Tolerance and Performance Index." *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 25, no. 11, pp. 1-13, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44408-025-00008-y>

- [31] I. Hussain, L. Khan, and G. Marwat. "Analysis of Vitamin C in Selected Medicinal Plants." *Journal of The Chemical Society of Pakistan*, vol. 33, no. 2, pp. 260-262, 2011. https://www.researchgate.net/publication/289257561_Analysis_of_Vitamin_C_in_Selected_Medicinal_Plants
- [32] R. Nawaz, M. Aslam, I. Nasim, F. Hussain, M. Irshad, M. Ahmad, and M. Latif. "Air Pollution Tolerance Index and Heavy Metals Accumulation of Tree Species for Sustainable Environmental Management in Megacity of Lahore." *Air*, vol. 1, pp. 55-68, 2023. <https://doi.org/10.3390/air1010004>
- [33] P. Patil, A. Goud, P. Patil, and K. Jadhav. "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*, vol. 195, no. 4, pp. 494, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11048-5>
- [34] B. Manjunath, and J. Reddy. "Comparative evaluation of air pollution tolerance index of plants from polluted and non-polluted regions of Bengaluru." *Biology and Biotechnology*, vol. 7, pp. 63-68, 2019. <https://doi.org/10.7324/JABB.2019.70312>
- [35] A. Pandey, M. Pandey, A. Mishra, S. Tiwary, and B. Tripathi. "Air pollution tolerance index and anticipated performance index of some plant species for development of urban forest." *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 14, pp. 866-871, 2015. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2015.08.001>
- [36] R. Lohe, et al. "A comparative study for air pollution tolerance index of some terrestrial plant species." *Global Journal of Environmental Science and Management*, vol. 1, no. 4, pp. 315-324, 2015. <https://doi.org/10.7508/gjesm.2015.04.006>
- [37] K. Achakzai, et al. "Air pollution tolerance index of plants around brick kilns in Rawalpindi, Pakistan." *Journal of Environmental Management*, vol. 190, pp. 252-258, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.072>
- [38] R. Jabeen. "Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Some Plants Growing on the Roads of Abha, Saudi Arabia." *Bioscience Biotechnology Research Communication*, vol. 12, no. 3, pp. 631-636, 2019. <https://doi.org/10.21786/bbrc/12.3/12>
- [39] R. Lekshmi, et al. "Evaluation of Air Pollution Tolerance Index of different Tree Species Growing in Jhansi City of Uttar Pradesh." *Indian Journal of Ecology*, vol. 50, no. 5, pp. 1286-1293, 2023. <https://doi.org/10.55362/IJE/2023/4049>
- [40] P. Choudhary, S. Khan, A. Khan, S. Kumar, and L. Malav. "Air Pollution Tolerance Index of Wheat and Rice in The Proximity of Gas Based Power Plant." *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 791-804, 2021. [http://dx.doi.org/10.18006/2021.9\(6\).791.804](http://dx.doi.org/10.18006/2021.9(6).791.804)
- [41] M. Rabbani, M. Hossain, S. Islam, S. Roy, A. Islam, I. Mondal, and S. Saadi. "Assessing thermal power effluent-induced air quality and associated environmental stress on *Blumea lacera* and *Phyla nodiflora* using chemometric, remote sensing and machine learning approach." *Geology, Ecology, and Landscapes*, vol. 10, no. 1, pp. 20-38, 2026. <https://doi.org/10.1080/24749508.2024.2430042>
- [42] H. Sadia, F. Jeba, A. Kamal, and A. Salam. "Air Pollution Tolerance Index of *Mangifera Indica* Plant Species Growing in the Greater Dhaka Region, Bangladesh." *Journal of biodiversity Conservation Bioresource Management*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.3329/jbcbm.v5i1.42180>
- [43] R. Al-Healy, and I. Ibrahim. "Assessment of Tolerance Levels to Air Pollution for Some Species of Trees and Shrubs Growing on Roadsides in Western Mosul City." *Journal of Education and Science*, vol. 31, no. 2, pp. 10-28, Jun. 2022. <https://doi.org/10.33899/edusj.2022.132140.1198>
- [44] M. Alotaibi, B. Alharbi, and M. Al-Shamsi. "Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application." *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, pp. 29156-29170, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09226-w>
- [45] D. Patel, and J. Kumar. "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*, vol. 7, pp. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.4236/ojap.2018.71001>
- [46] A. Amujiri, A. Nweze, L. Ogoji, C. Ikegbunam, C. Umejiaku, O. Okwagbe, E. Ojua, and E. Osayi. "Assessment of Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Expected Performance Index (EPI) of Plants along Nsukka, Enugu Road, Nigeria." *Asian Journal of Biology*, vol. 20, no. 12, pp. 113-129, 2024. <https://doi.org/10.9734/ajob/2024/v20i12465>