

دور المساحات الحضرية الخضراء في عزل وامتصاص ثاني أكسيد الكربون (CO₂) وإنتاج الأوكسجين (O₂) في مدينة طرطوس

عبير موسى*¹ وزهير شاطر¹ وبسيمة الشيخ¹



¹ قسم الحراج والبيئة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سورية.

(*للمراسلة: م. عبير موسى، البريد الإلكتروني Abeerceta@gmail.com)

تاريخ القبول: 2026/07 /12

تاريخ الاستلام: 2026/05 /8

الملخص

تؤدي الأشجار في المساحات الحضرية الخضراء دوراً هاماً في إدارة CO₂ والتخفيف من التلوث. نفذت هذه الدراسة في مدينة طرطوس وهدفت إلى تقدير كمية ثاني أكسيد الكربون (CO₂) وكمية الأوكسجين (O₂) التي تمتصها وتنتجها أشجار الحدائق. تم اختيار 35 حديقة، وجرى جميع الأشجار وقياس ارتفاعاتها والأقطار على ارتفاع الصدر، ومن ثم قدرت الكتلة الحيوية وكمية CO₂ الممتصة والأوكسجين المنتج. أظهرت النتائج أن أشجار الحدائق امتصت 883.61 طناً بمتوسط (22.03±25.25) من CO₂ وأنتجت 642.81 طناً من الأوكسجين بمتوسط (18.37±16.03)، تميزت حديقة البرانية بأعلى كفاءة من حيث امتصاص الكربون 104.19 طناً ومن حيث إنتاج الأوكسجين 75.80 طناً. كانت الأنواع دائمة الخضرة هي الأكثر حضوراً في الحدائق المدروسة، وتميزت بكتلة حيوية أكبر، وأسهمت بامتصاص أعلى نسبة من الكربون وإنتاج الأوكسجين. جاءت أشجار الكازورينا *Cuscuta cunninghamiana* والتين اللامع *Ficus nitida* والازدرخت *Melia azedarach* في المراتب الثلاثة الأولى من حيث امتصاص CO₂ (257.47، 205.33، 126 طناً) على التوالي، ومن حيث إنتاج الأوكسجين (187.32، 149.39، 92.33 طناً) على التوالي. أكدت النتائج الدور المحدود للنخيل في امتصاص CO₂ مقارنة بأنواع الأشجار الأخرى. كانت الخصائص البنوية وهي الارتفاع والقطر على ارتفاع الصدر وعدد الأشجار عوامل أساسية فسرت الاختلافات بين الحدائق المدروسة في تقديم هذه الخدمة البيئية. توصي الدراسة باستكمال جرد جميع المساحات الخضراء في المدينة، والأخذ بالحسبان الخصائص المتعلقة بالأنواع وقدرتها على تحمل الشروط البيئية المجهد في المدن. كما توصي بالبحث عن معادلات خاصة بالأنواع من أجل تقدير دورها في امتصاص CO₂ بدقة.

الكلمات المفتاحية: الكتلة الحيوية، المساحات الحضرية الخضراء، إنتاج الأوكسجين، حجز وامتصاص CO₂.

المقدمة:

تعد المناطق الحضرية مصدراً رئيساً لانبعاث غازات الاحتباس الحراري خاصة ثاني أكسيد الكربون (CO_2) بسبب الأنشطة البشرية المختلفة (Tang *et al.*, 2016; Gratani, 2020; Wang *et al.*, 2024)، والتي تسبب ما نسبته 80% من الطاقة العالمية وانبعاثات الكربون في المدن المعاصرة (Wang *et al.*, 2026)، وهذا ما يضع المدن أمام مسؤولية اتخاذ الإجراءات الضرورية للتحكم في هذه الانبعاثات، إما من خلال تخفيضها أو زيادة امتصاصها (Fan *et al.*, 2023)، وقد قدم العديد من الباحثين تدابير مختلفة ضمن الحلول المستوحاة من الطبيعة، بما فيها تعزيز المساحات الحضرية الخضراء (Zhao *et al.*, 2024).

تؤدي المساحات الحضرية الخضراء دوراً محورياً في تنظيم درجات الحرارة، ومكافحة ظاهرة الجزر الحضرية الحرارية. إذ يمكن لهذه المساحات، مثل الحدائق والمتنزهات والغابات الحضرية والأسطح الخضراء والمزارع المجتمعية، أن تساعد في التخفيف من تأثير الجزر الحضرية الحرارية من خلال التبخر والنتح والتظليل وتحويل الأسطح غير المنفذة إلى غطاء نباتي منفذ شتاءً وتساهم في تأمين الدفء (Feng *et al.*, 2023)، وهذا من شأنه أن يقلل انبعاث CO_2 نتيجة انخفاض الطلب على تكييف المباني، ويؤدي بالنتيجة إلى انخفاض مباشر في صافي استهلاك الطاقة اللازمة للتبريد والتكييف بنسبة وفورات تصل إلى 25% على الأقل (Akbari, 2002).

وفي هذا السياق، تؤدي الحدائق دوراً حيوياً في التخفيف من التلوث البيئي وتحسين جودة الهواء من خلال تقليل الضباب الدخاني (Akbari, 2002)، وامتصاص وتخزين الكربون الجوي (Bhatnagar *et al.*, 2024; Eom *et al.*, 2025)، ويعد امتصاص CO_2 من الغلاف الجوي وتخزين الكربون في التربة والنباتات إحدى أهم الخدمات البيئية التي تقدمها هذه الحدائق، والتي تعزز تكيف المدن والدول مع التغيرات المناخية، وتحد من تدهور الأنظمة البيئية الحضرية (Morgenroth *et al.*, 2020; Lindén *et al.*, 2020) ولاسيما في المدن المكتظة. وهذا ما تؤكد عليه العديد من الأبحاث، حيث تشير دراسة في فنلندا إلى أن قدرة الحدائق الحضرية على الاحتفاظ بالكربون في تربتها تتجاوز بكثير قدرة التربة الحرجية (Lindén *et al.*, 2020). ويؤكد Hou وآخرون (2024) أن "المجتمعات النباتية هي المستودعات الطبيعية الوحيدة لعزل الكربون وتخزينه من خلال عملية التمثيل الضوئي (Nowak and Crane, 2002)، فقد خزنت الغابات الحضرية في مدينة شنيانغ الصناعية شمال شرقي الصين حوالي 3.02% من انبعاثات الكربون الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري (Liu and Li, 2012)، وساهمت الأشجار الحضرية بتخزين 3.2% من إجمالي الكربون المخزن في الغابات على مستوى الولايات المتحدة الأمريكية (Nowak *et al.*, 2013)، لتصل نسبة عزل الانبعاثات الحضرية ذات المنشأ البشري إلى 7% في هلسنكي (Havu *et al.*, 2024)، بينما وفرت الحدائق في مدينة جينان (Jinan) في الصين ما يعادل 11.28% من انبعاثات الوقود الأحفوري (Yu *et al.*, 2025).

يزداد تخزين الكربون وعزله داخل المدن مع زيادة الغطاء الشجري الحضري (Nowak and Crane, 2002)، وزيادة مساحة الحديقة (Lv *et al.*, 2018)، والتي تلعب الدور الأهم في خفض انبعاثات الكربون سواء من حيث كثافة خفض الكربون أو كفاءة توفيره (Yu *et al.*, 2025).

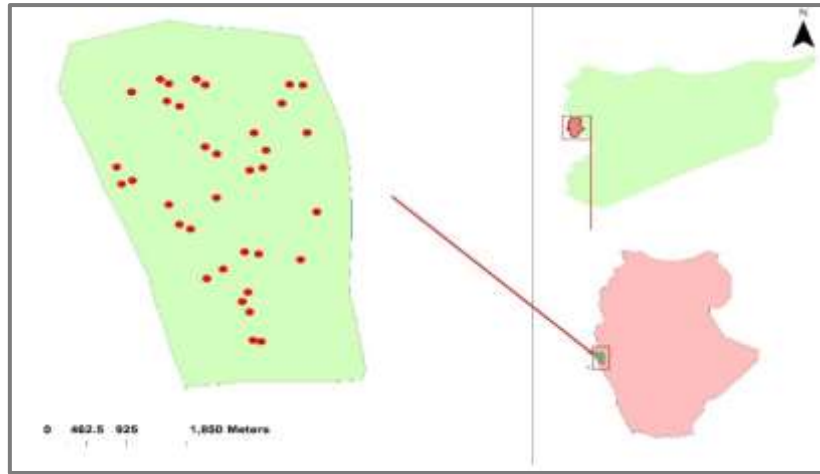
أصبح دور الحداثق الحضرية في إدارة CO₂ موضوعاً بحثياً مهماً منذ تسعينات القرن الماضي، وخاصة في الولايات المتحدة الأمريكية (Liu and Li, 2012)، وقد توسع نطاق البحث في القرن الحالي في العديد من الدول على مستوى العالم مثل روما (Gratani, 2020)، وماليزيا (Kanniah et al., 2022) وجنوب السودان (Gomgnimbou et al., 2019) وإسبانيا (Mazon, 2025) والصين (Zhao et al., 2024) وإثيوبيا (Muluneh and Worku, 2022) وغيرها.

تعد سورية من البلدان التي شهدت ارتفاعاً واضحاً في تراكيز CO₂ خلال السنوات القليلة الماضية، بسبب الحرائق المفاجئة التي امتدت على مساحات واسعة، وأدت إلى القضاء على أجزاء هامة وكبيرة من غاباتها، وخاصة في المنطقة الواقعة شمال اللاذقية وشرقي طرطوس في عامي 2020 و2023، وهذا ما تؤكد دراسة أجريت في شمال غرب سوريا، بل ويضاف إلى ذلك أن هذه الزيادات بلغت حدتها وبشكل يتعارض مع النمط الموسمي المعتاد في عامي 2021 و2024 (Loho et al., 2025)، وبهذا يعد إجراء مثل هذه الدراسة أمراً بالغ الأهمية وخاصة في ظل غياب أبحاث مماثلة، فقد هدفت هذه الدراسة إلى حساب الكتلة الحيوية للأشجار فوق سطح الأرض في حداثق مدينة طرطوس من جهة، وحساب مخزون الكربون في الكتلة الحيوية باستخدام المعادلات الألومترية العامة الخاصة بالأشجار الحضرية من جهة أخرى، وتقييم مدى مساهمة هذه الحداثق ودورها في امتصاص CO₂ الأمر الذي يسهم في الاستدامة البيئية لمدينة طرطوس، ويحسن من مرونتها أمام التحديات المناخية الحالية.

مواد البحث وطرائقه:

1. موقع الدراسة:

تمت الدراسة في مدينة طرطوس، وهي تقع على شاطئ البحر المتوسط في سورية، وتعد ثاني أكبر مدينة ساحلية بعد اللاذقية. تقع على خط طول 35.89 درجة وخط عرض 34.89 درجة، وترتفع نحو 20 متر عن سطح البحر الشكل (1)



الشكل (1): مواقع الحداثق المدروسة في مدينة طرطوس - سورية.

2. طريقة العمل:

تم اختيار 35 حديقة في مدينة طرطوس، ومن ثم تم جرد جميع الأشجار وقياس ارتفاعاتها، وقياس الأقطار على ارتفاع الصدر (DBH)، وتم تصنيفها حسب النوع والجنس والعائلة.

تم حساب كمية CO₂ الممتصة على مستوى الحديقة من خلال الخطوات التالية:

- استخدمت المعادلة الألومترية العامة (Manuri et al., 2016) لحساب الكتلة الحيوية للشجرة فوق سطح

$$AGB = 0.125 * D^{2.533}$$

الأرض من خلال المعادلة التالية:

• استخدمت المعادلة الألوثرية الخاصة بالنخيل (Lubis, 2011): $Y = 0,002382 \times D^{2,3385} \times H^{0,9411}$

حيث AGB وY الكتلة الحيوية فوق سطح الأرض (كغ)، H الارتفاع الكلي للشجرة، D القطر على ارتفاع الصدر (سم).

• تم حساب الكربون المخزن في الأشجار عن طريق المعادلة: $C_{\text{carbon}} = AGB \times 47\%$

C_{carbon} الكربون المخزن في الشجرة (كغ)، 47% ثابت حسب الهيئة الدولية للتغيرات المناخية.

• حساب ثاني أكسيد الكربون الممتص (كغ) (Heriyanto and Subiandono, 2012): $CO_2 = C_{\text{carbon}} \times 3.67$

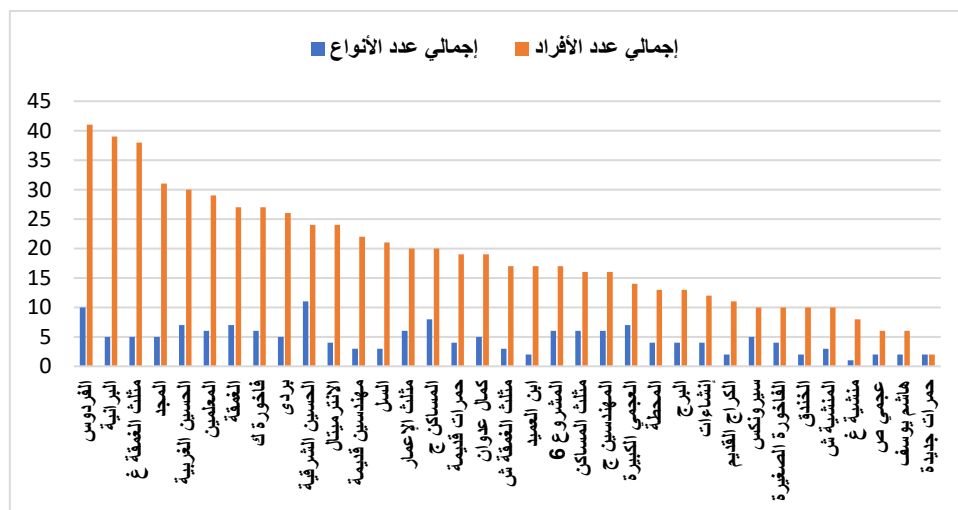
• حساب كمية الأكسجين المنتج (كغ) (Nowak et al., 2019): $O_2 = C_{\text{carbon}} \times 2.67$

تم إجراء الانحدار التدريجي لمعرفة العوامل المؤثرة في امتصاص الكربون (CO_2)، وإنتاج الأكسجين (O_2)، وتفسير الاختلافات في كفاءة الحدائق المدروسة، وقد اعتمدت الخصائص البنوية الثلاثة وهي القطر على ارتفاع الصدر والارتفاع وعدد الأشجار في الحدائق المدروسة كمتغيرات مستقلة. وتم إجراء اختبار T لعينتين مستقلتين بعد اختبار الفرضيات المتعلقة بهذا الاختبار من حيث التوزيع الطبيعي وتجانس التباين. وبناء على هذه الفرضيات أجري اختبار الارتباط الثنائي بيرسون بين المتغيرات التي تتبع التوزيع الطبيعي، واختيار سبيرمان لتلك التي لا تتبع التوزيع الطبيعي وتحتوي قيماً متطرفة.

النتائج:

1. **التنوع النباتي:** تم تسجيل 31 نوعاً من الأشجار التي تنتمي إلى 25 جنساً و18 فصيلة، وبلغ عدد الأشجار الإجمالي 667 شجرة من بينها 60 شجرة نخيل. تراوح عدد الأنواع بين نوعين فقط في كل من حديقة العجمي الصغيرة وهاشم يوسف والحمراء الجديدة و(11) نوعاً في حديقة الحسين الشرقية، وبمتوسط قدره (2.31 ± 4.74) . في حين تراوح عدد الأشجار بين (شجرتين فقط) في حديقة الحمراء بنسبة 0.30%، و(41 شجرة) في حديقة الفردوس وهو ما يمثل 6.15% من العدد الإجمالي للأشجار في جميع الحدائق. بلغ متوسط عدد الأشجار في الحدائق (9.63 ± 19.06) . الشكل (2).

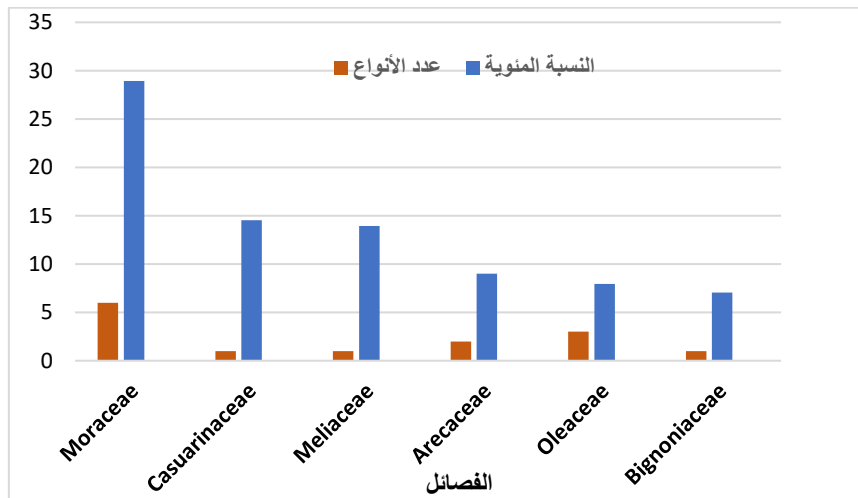
تشير الدراسات إلى أن التنوع النباتي في المناطق الحضرية يكون أعلى في الحدائق الكبيرة المساحة مقارنة بتلك الصغيرة، ويزداد على المستويات المكانية الأوسع (Chang et al., 2021; Love et al., 2022)، إذ تعد دراسة التنوع على مستويات مكانية مختلفة ذات أهمية كبيرة لتحديد مدى مرونة هذه المناطق، ولضمان استمراريته واستدامتها.



الشكل (2): عدد الأنواع والأشجار في الحدائق المدروسة

كانت الفصيلة التوتية *Moraceae* الأكثر حضوراً ممثلة بـ 6 أنواع، تلتها الفصيلة الزيتونية *Oleaceae* ممثلة بـ 3 أنواع. أما من حيث عدد الأشجار فقد جاءت الفصيلة التوتية *Moraceae* أيضاً في المرتبة الأولى بنسبة 28.94%، تلتها فصيلة *Casuarinaceae* وقد تمثلت بنوع واحد بنسبة 14.54%، وفصيلة الازدرخت *Meliaceae* بنسبة 13.94%، وجاءت في المرتبة الرابعة فصيلة النخيل *Arecaceae* ممثلة بنوعين بنسبة 9%، تلتها فصيلة *Oleaceae* بنسبة 7.95% الشكل (3). وبالمثل فقد سادت الفصيلتان النخيلية *Arecaceae* والبيغونية (*Bignoniaceae*) في حرم جامعة مارينغا الحكومية (البرازيل) بنسبة 15.63% و 13.73% على التوالي (Broi Junior et al., 2025)، وفي دراسة أخرى في بعض حدائق إسلام آباد، جاءت الفصيلة التوتية *Moraceae* في المرتبة الثانية وقد شملت 9 أنواع (15.54%)، وسجل أيضاً وجود فصيلة النخيل ومن أنواعها *Phoenix dactylifera*، وفصيلة الازدرخت ومن أنواعها *Melia azedarach* والفصيلة البيغونية ومن أنواعها الجاكرندا *Jacaranda mimosifolia* (Shafique et al., 2023). إن انتشار هذه الأنواع في مدن مختلفة حول العالم يدل على تأقلمها الجيد مع الشروط البيئية السائدة.

كان التين اللامع *Ficus nitida* هو النوع السائد بنسبة 25.79%، تلاه الكازورينا *Casuarina cunninghamiana* بنسبة 14.54%، ومن ثم الازدرخت *Melia azedarach* بنسبة 13.94%، والليغستروم *Ligustrum ovalifolium* والجاكرندا *Jacaranda mimosifolia* بنسبة 7.35% و 7.05% على التوالي. وبالمقارنة بين الحدائق، فقد كان التين اللامع النوع السائد الذي استخدم في تشجير 37.14% من الحدائق، تلاه الازدرخت الذي ساد في 20% من الحدائق، ومن ثم سادت الكازورينا في 14.29%، وجاء في المرتبة الرابعة الليغستروم في 8.57% من الحدائق، وبعدها الجاكرندا التي سادت في 5.71%.



الشكل (3): الفصائل الأكثر حضوراً من حيث عدد الأنواع والنسبة المئوية في الحدائق المدروسة

2. التنوع البيئي:

تفاوتت الحدائق المدروسة من حيث خصائص الأشجار البنيوية، فقد تراوح متوسط أقطار الأشجار بين (10.61 سم) في حديقة الفاخورة الصغيرة و (42.71 سم) في حديقة السل، في حين تراوح متوسط ارتفاع الأشجار بين (4.29 م) في حديقة الإنشاءات و (12.48 م) في حديقة المهندسين القديمة الجدول (1).

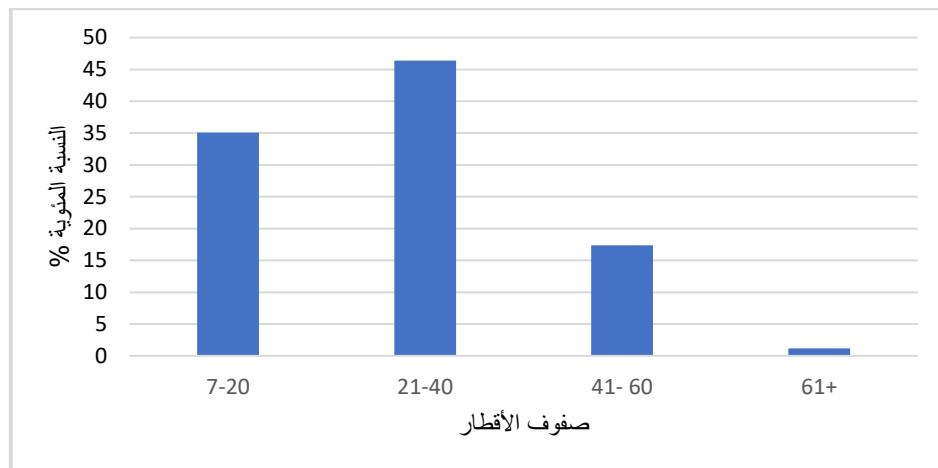
الجدول (1): خصائص الأشجار البنيوية في الحدائق المدروسة

الحديقة	متوسط القطر	الانحراف المعياري	متوسط الارتفاع	الانحراف المعياري	عدد الأشجار
مثلث المساكن	27.31	10.55	6.38	1.49	16
المنشأة الشرقية	32	5.72	7.25	1.90	10

10	3.20	6.3	15.48	36.75	الخنق
22	3.12	12.55	10.22	31.95	المهندسين قديمة
30	2.10	7.47	8.37	31.16	الحسين الغربية
19	1.49	6.58	8.29	38.95	حمرات قديمة
29	2.47	7.59	10.17	26.43	المعلمين
39	2.57	10.81	11.64	38.87	البرانية
8	1.84	6.56	11.003	31.75	المنشية الغربية
27	1.33	9.06	8.77	34.37	الغمقة الشرقية
21	2.05	10.98	9.84	42.71	السل
20	1.92	5.98	7.69	22.48	مثلث الإعمار
11	1.92	5.45	12.63	18.27	الكراج القديم
20	1.80	6.65	11.35	33.80	المساكن الجنوبية
27	1.43	5.20	8.59	14.61	الفاخورة الكبيرة
17	0.57	5	3.53	11	ابن العميد
14	4.33	10.07	18.24	30.93	العجمي الكبيرة
10	2.37	7.82	14.91	38.8	سيرونكس
19	2.23	5.67	20.26	26.21	كمال عدوان
10	2.03	8.10	10.61	26.82	الفاخورة الصغيرة
26	1.26	4.67	7.35	14.55	بردى
17	1.34	5.21	10.28	18.24	المشروع 6
12	0.62	4.29	4.33	17.62	الإنشاءات
31	1.58	4.95	12.43	17.19	المجد
24	2.001	7.63	12.36	37.29	الانترمينتال
6	0.92	4.42	4.20	14.08	العجمي الصغيرة
41	1.70	8.41	14.30	33.55	الفردوس
24	2.22	6.81	15.55	29.42	الحسين الشرقية
6	1.41	4.75	3.83	23	هاشم يوسف
13	2.31	8.58	12.73	37.54	المحطة
18	2.06	6.72	13.02	29.39	المهندسين الجديدة
13	1.02	4.92	3.73	15.31	البرج الأخضر
2	0.35	7.25	2.83	42	حمرات جديدة
17	0.86	6.18	9.51	34.24	مثلث الغمقة الشرقي
38	1.87	6.78	8.23	29	مثلث الغمقة الغربي

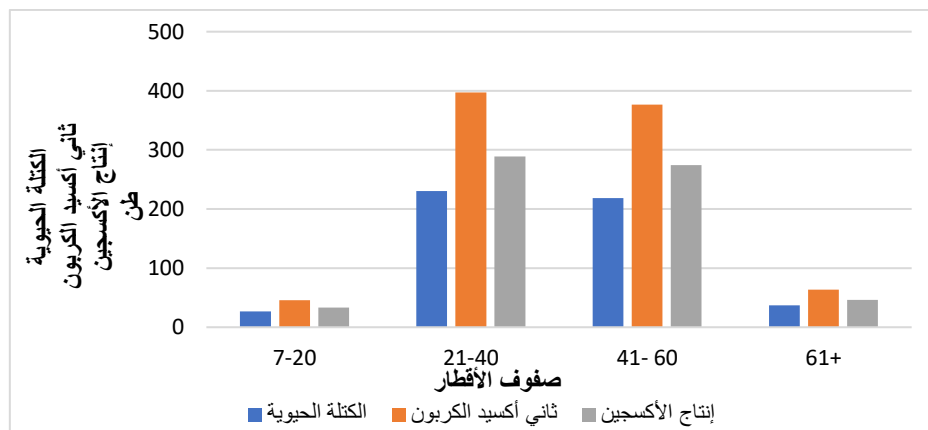
3. توزيع أقطار الأشجار وارتفاعاتها:

كانت فئة الأقطار (21-40) الأكثر وفرة بنسبة 46.41%، تلتها فئة الأقطار (7-20) بنسبة 35.06%، بينما شكلت فئة الأقطار (41-60) 17.39%، وأخيراً شكلت فئة الأقطار (60+) فقط 1.15% الشكل (4).

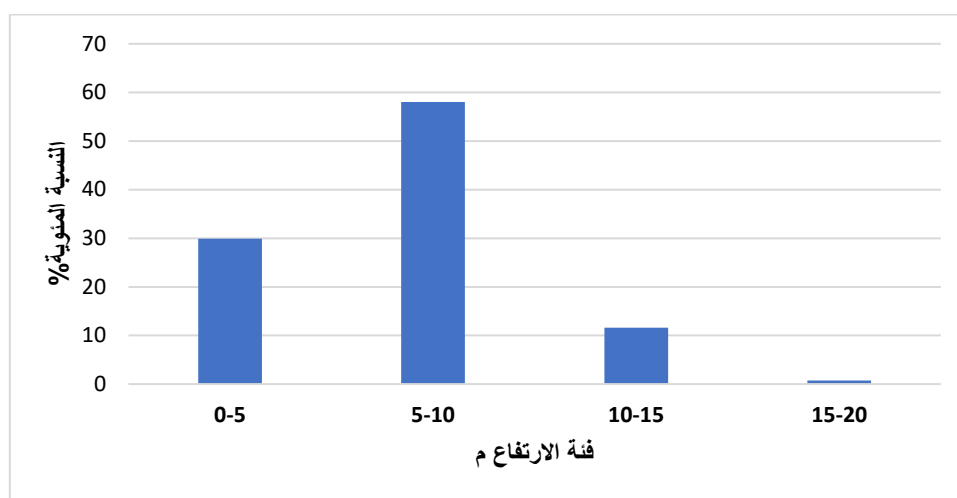


الشكل (4): توزيع الأشجار حسب صفوف الأقطار

تنتمي الأشجار في هذه الدراسة إلى فئة الأقطار الكبيرة مقارنة مع الدراسات العالمية المشابهة، فقد شكلت الأشجار التي تقل أقطارها عن 15 سم في حدائق فينيكس بولاية أريزونا ما نسبته 53.3% (Kim and Coseo, 2018)، وهيمنت الأشجار ذات الأقطار الأقل من 20 سم في مدينة بكين ونسبة 80.8% (Sun *et al.*, 2019)، أظهرت الدراسة الحالية أن فئة الأقطار (40-21) سم قد أسهمت بأكبر كتلة حيوية، وساهمت في امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين بفعالية ونسبة أكبر من فئات القطر الأخرى الشكل (5). تشير الدراسات إلى أن الأشجار ذات الأقطار الكبيرة أكثر فعالية في عزل وتخزين الكربون مقارنة بالأشجار ذات الأقطار الصغيرة، فبالرغم من العدد القليل للأشجار التي تزيد أقطارها عن 20 سم في مدينة بكين إلا أنها عزلت 65.1% من مخزون الكربون، كما أن الأشجار ذات الأقطار الأكبر من 40 سم عزلت ما يقارب 22% من مخزون الكربون الإجمالي (Sun *et al.*, 2019). وينطبق الأمر ذاته على إنتاج الأكسجين حيث يؤكد Nowak وآخرون (2006) أن الأشجار ذات الأقطار 9-12 سم أنتجت فقط 22.6 كغ O_2 /سنة، بينما وصلت هذه الكمية إلى 110.3 كغ/سنة عند الأشجار ذات الأقطار <30 سم، وبهذا ستحتاج الحدائق إلى عدد أكبر من الأشجار الصغيرة للوصول إلى نفس الفعالية التي يؤديها عدد أقل من الأشجار وذات الأقطار الأكبر (Nowak *et al.*, 2007). بالمقابل تحتاج الأشجار الكبيرة إلى عمليات تقليم وصيانة مستمرة ما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف، كما أنها أكثر عرضة للموت والزوال بسبب التغيرات المناخية (Chisholm and Gray, 2025)، ما يستدعي تعويضها من خلال إعادة التشجير على عكس الأشجار الصغيرة التي ستنمو وتسهم في استمرارية الغطاء الشجري الحضري وتقديم الخدمات البيئية المختلفة، ولاسيما عزل وتخزين الكربون وبالتالي التخفيف من تلوث الهواء وتحسين جودته (Kim and Coseo, 2018)، ما يستوجب وجود أشجار متباينة في الحجم وصفوف الأقطار والأعمار لضمان استدامتها وتعزيز فوائدها.

الشكل (5): صفوف الأقطار ودورها في امتصاص CO_2 وإنتاج O_2

شكلت الأشجار ذات الارتفاعات (5-10) م الفئة الأكثر وفرة بنسبة 58.05%، تليها فئة الارتفاعات (>5) م بنسبة 29.92% الشكل (6). تنتمي هذه الأشجار إلى الأنواع صغيرة الحجم أو التي خضعت لعمليات إدارة وتربية، وقسم منها لم يمض على تشجيرها زمن طويل، وتركزت بشكل أساسي في ثلاثة حدائق وهي بردى (*Ficus nitida*، *Fraxinus angustifolia*، *Ficus benjamina*، *Hesperocyparis macrocarpa*) والفاخورة الكبيرة (*Ligustrum ovalifolium*، *Hesperocyparis macrocarpa*) والمجد (*Ligustrum ovalifolium*، *Ficus benjamina*، *Hesperocyparis macrocarpa*)، وبشكل مشابه فقد سيطرت الأشجار ذات الارتفاعات (6-10 م) في كاليفورنيا (Love et al., 2022)، وفي دراسة أخرى في البرازيل كانت غالبية الأشجار من فئة الارتفاع (8.1-12 م)، تلتها فئة الارتفاع (4.1-8 م) بنسبة 41.58% و 33.47% على التوالي (Broi Junior et al., 2025).



الشكل (6): نسبة الأشجار حسب فئات الارتفاع في الحدائق المدروسة

4. كفاءة الحدائق في امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين:

بلغت كمية ثاني أكسيد الكربون الممتصة من قبل الأشجار في الحدائق المدروسة 883.61 طناً، وبمتوسط قدره (25.25 ± 22.03)، في حين بلغت كمية الاوكسجين المنتجة 642.84 طناً، وبمتوسط (16.03 ± 18.37). تباينت الحدائق المدروسة من حيث الكفاءة، وجاءت حديقة البرانية أولاً، تلتها حديقة السل، بينما كانت حديقة ابن العميد والعجمي الصغيرة الأقل كفاءة في هذا المجال من بين جميع الحدائق الجدول (2).

تشير نتائج هذه الدراسة بشكل عام إلى أن كمية الكربون الذي تمتصه أشجار الحدائق المدروسة أكبر من الأكسجين الذي تطلقه، وهذا ما يشير إلى أن الفوائد المرجوة منها على مستوى التخفيف من تركيز الملوثات ومنها CO₂ أكثر أهمية منها على مستوى إنتاج الأكسجين، ويعود السبب في ذلك إلى الفروقات في تراكيز CO₂ (0.03%) القليلة مقارنة بتراكيز الأكسجين (21%) في الغلاف الجوي من جهة، وإلى مساهمة الأنظمة المائية في إنتاج الأكسجين من جهة أخرى (Nowak et al., 2007).

الجدول (2): الكتلة الحيوية وثاني أكسيد الكربون الممتص والأكسجين المنتج في الحدائق المدروسة

الحدائق	الكتلة الحيوية (طن)	الكربون الممتص (طن)	إنتاج الأكسجين (طن)
ابن العميد	1.66	2.87	2.09
الانترميثال	34.40	59.33	43.16
البرانية	60.41	104.19	75.80
الحسين الشرقية	19.17	33.07	24.06
الحسين الغربية	21.10	36.39	26.48

6.24	8.58	4.98	الخدق
48.78	67.06	38.88	السل
21.18	29.12	16.88	العجمي الكبيرة
32.51	44.69	25.91	الغمقة الشرقية
9.22	12.67	7.35	الفاخورة الصغيرة
37.84	52.01	30.15	الفردوس
5.55	7.63	4.43	الكراج القديم
13.99	19.23	11.15	المجد
10.65	14.64	8.49	المحطة
26.82	36.87	21.37	المساكن الجنوبية
6.84	9.39	5.45	المشروع 6
29.68	40.79	23.65	المعلمين
11.89	16.34	9.47	المنشية الشرقية
11.40	15.67	9.08	المهندسين الجديدة
3.23	4.44	2.58	الإنشاءات
2.25	3.09	1.79	البرج الأخضر
6.21	8.53	4.95	بردى
4.08	5.60	3.25	حمرات جديدة
34.43	47.33	27.44	حمرات قديمة
20.92	28.76	16.67	سيرونكس
0.87	1.20	0.70	العجمي الصغيرة
6.45	8.86	5.14	الفاخورة الكبيرة
15.77	21.68	12.57	كمال عدوان
10.61	14.58	8.45	مثلث الإعمار
24.24	33.31	19.31	مثلث الغمقة الشرقي
16.33	22.44	13.01	مثلث الغمقة الغربي
14.03	19.29	11.18	مثلث المساكن
9.53	13.10	7.59	المنشية الغربية
26.48	36.40	21.10	المهندسين القديمة
3.23	4.44	2.57	هاشم يوسف

بلغ عدد أشجار النخيل 60 شجرة فقط، بمتوسط ارتفاع (2.28 ± 8.19) م، وبمتوسط قطر 9.61 ± 40.30 سم، وبالمقارنة مع الأنواع ذات الأوراق العريضة والمتساقطة جزئياً والتي سجلت 59 شجرة بمتوسط ارتفاع 1.63 ± 7.60 م، وبمتوسط قطر 9.81 ± 25.64 سم، ولم تسجل ارتفاعات هاتين المجموعتين فروقات معنوية، فقد سجلت فروقات معنوية ذات دلالة إحصائية ($P < 0.001$) بين متوسطات أقطار هاتين المجموعتين، وهذا ما يفترض أن أشجار النخيل ستكون ذات كتلة حيوية أكبر وبالتالي ذات كفاءة أعلى في امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإطلاق الأكسجين، وعلى عكس ذلك فقد كانت كتلتها الحيوية ونسبة امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين أقل الجدول (4)، تشير هذه الفروقات إلى كفاءة الأشجار الأخرى في هذا المجال مقارنة بالنخيل، وهذا يتوافق مع نتائج دراسات سابقة في حديقة أميليا إيرهارت (فلوريدا) إذ سجلت الأشجار الأخرى فروقات دالة إحصائية بالمقارنة مع أشجار النخيل سواء من حيث الكتلة الحيوية أو مخزون الكربون (Perez et al., 2022)، وبالمثل فلم تسهم أشجار النخيل في حرم جامعة مارينغا الحكومية في البرازيل إلا بنسبة 9.85% من مخزون الكربون الإجمالي، بالرغم من أقطارها وأعدادها الكبيرة (Broi Junior et al., 2025).

5. خصائص الأشجار البنيوية المؤثرة في امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين:

بينت نتائج الانحدار المتعدد التدريجي (Stepwise Multiple regression) أن كلاً من متوسط الارتفاع وعدد الأشجار ومتوسط القطر على ارتفاع الصدر أسهمت بتفسير نسبة 73.3% من التباين في كمية الكربون الممتص والأكسجين المنتج، حيث أسهم متوسط الارتفاع بتفسير 46.8%، وعدد الأشجار بتفسير 19.1%، ومتوسط القطر 7.4% فقط من التباين في كمية الكربون الممتص.

تم إجراء الانحدار التدريجي بدون النخيل نظراً لمساهمته المحدودة في هذا المجال، أظهرت النتائج أن نسبة تفسير المتغيرات الثلاثة ارتفعت لتفسر نسبة 83.4% من التباين في كمية الكربون الممتصة والأكسجين المنتج، حيث أسهم متوسط الارتفاع بتفسير 48%، وأسهم عدد الأشجار بتفسير 20.7% ومتوسط القطر بتفسير 14.7% من التباين في كمية الكربون الممتص والأكسجين الممتص، وهذا ما يؤكد الدور المحدود للنخيل.

يظهر الجدول (3) وجود علاقة ارتباط إيجابية ودالة إحصائية بين متوسط القطر على ارتفاع الصدر ومتوسط الارتفاع، ما يدل على أن زيادة كل من الارتفاع والقطر على ارتفاع الصدر تؤدي إلى زيادة حجم الشجرة، وهذا يتفق مع نتائج Mandal وآخرون (2020) والتي أكدت وجود علاقة وثيقة بين المتغيرات الثلاثة وهي القطر على ارتفاع الصدر والارتفاع والحجم. وبالمقابل يظهر عدد الأشجار ارتباطاً إيجابياً ذا دلالة إحصائية هامة مع امتصاص الكربون وإنتاج الأكسجين، أي أن زيادة متوسط الارتفاع ومتوسط القطر وعدد الأشجار تؤدي إلى زيادة امتصاص الكربون وإنتاج الأكسجين. ترتبط المتغيرات الثلاثة مع الكربون الممتص والأكسجين المنتج ارتباطاً إيجابياً ودالاً، ويمكن القول بأنه توجد علاقة وثيقة بين الكربون الممتص والأكسجين، وهذا ما تؤكدته العديد من الدراسات إذ ترتبط كمية الأكسجين التي تنتجها الأشجار على مدار العام ارتباطاً مباشراً بكمية الكربون (CO_2) التي تمتصها أثناء عملية التمثيل الضوئي (Nowak et al., 2007; Hintural et al., 2024).

تؤكد الأبحاث دور القطر على ارتفاع الصدر كمؤشر هام يرتبط بشكل وثيق مع خصائص الأشجار البنيوية وغير البنيوية، ويمكن من خلاله التنبؤ بكفاءة وقدرة الأشجار على عزل الكربون وإنتاج الأكسجين (Morgenroth et al., 2020; Ononyume and Edu, 2025)، وبالمثل تعد الكثافة عاملاً مهماً يرتبط بشكل إيجابي مع عزل الكربون وإنتاج الأكسجين ويسهم بالتالي في التخفيف من نسبة ثاني أكسيد الكربون في بيئة المدن وتحسين جودة الهواء (Fan et al., 2023; Hou et al., 2024; Wang et al., 2026). تختلف فعالية الأشجار في هذا المجال بين المدن حسب حيويتها (Suchocka et al., 2023) وعدد الأشجار السليمة ومعدلات نموها وتوزيع فئات الأقطار (Nowak et al., 2007).

وبالرغم من إجماع الدراسات على العلاقة الوثيقة للقطر والكثافة وأهميتهما فيما يتعلق بعزل الكربون وإنتاج الأكسجين، إلا أن الأمر لا ينطبق على الارتفاع، والذي تم استبعاده في بعض الدراسات ولم يؤخذ به ضمن العوامل المؤثرة بسبب تأثيره بالعمليات الإدارية، ولاسيما عملية التقليم (Fini et al., 2023)، في حين وجدت دراسات أخرى علاقة ارتباط إيجابية وضعيفة (Dou and Tang, 2025; Yu et al., 2025)، إلا أن الدراسة الحالية أظهرت أهمية الارتفاع كعامل بنيوي هام، وهذا ما يتفق مع نتائج دراسات عديدة تشير إلى أن متوسط الارتفاع هو السبب الكامن والعامل الأهم الذي يؤثر على مخزون الكربون فوق سطح الأرض (Sitoe et al., 2014; Zaman et al., 2023).

يمكن تفسير ذلك من خلال الارتفاعات السائدة في هذه الدراسة من جهة، والتي تنتمي إلى فئة الارتفاعات (6-10 م)، إذ ينعدم تأثير ارتفاع الأشجار على امتصاص CO_2 وإطلاق O_2 عندما يقل عن 6م، على عكس الأشجار ذات الارتفاعات التي تزيد عن

كم ستمتلك أوراقاً أكبر ذات مساحة مهمة ما يحسن من عملية التمثيل الضوئي وينعكس إيجاباً على هاتين العمليتين (Hou *et al.*, 2024). ومن جهة أخرى تختلف العمليات الإدارية والتربوية وكثافتها والتي تطبق على أشجار المدن حسب البلديات، وخاصة عملية التقليم، إذ تؤدي عملية التقليم العلوي إلى كبح النمو الطولي، ما يؤدي إلى تغييرات كبيرة في منحى نمو الأشجار (Fini *et al.*, 2015)، وتبرز الحاجة إلى ذلك في المناطق الحضرية الكثيفة ووجود أنواع تصل إلى ارتفاعات وأحجام كبيرة ما يمكن أن يلحق الضرر بالسكان، وبالمقارنة مع حداثق الدراسة الحالية فقد لوحظ أن عمليات صون وتربية الأشجار اقتصر على عمليات تشذيب بسيطة تتضمن إزالة الأفرع القديمة والميتة ما دعم نمو الأشجار الرأسي، مع العلم أنه يتم تنفيذ عمليات تقليم جائرة لبعض الأنواع التي تصل لأحجام ضخمة مثل *Eucalyptus camaldulensis* أو القابلة للقص والتشكيل وهذا يتم بشكل رئيسي في الشوارع وبعض الحداثق الكبيرة.

الجدول (3): الارتباطات بين الخصائص البنوية وامتصاص الكربون وإنتاج الأكسجين

متوسط الارتفاع	متوسط القطر	O ₂	CO ₂	
-	-	R=0.65, P<0.001	R=0.65, P<0.001	متوسط القطر
-	R=0.63, P<0.001	R=0.74, P<0.001	R=0.74, P<0.001	متوسط الارتفاع
R=0.28, P=0.10	R=0.098, P=0.58	R=0.64, P<0.001	R=0.64, P<0.001	عدد الأشجار

6. دور الأنواع دائمة الخضرة ومتساقطة الأوراق في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂:

كانت الأنواع دائمة الخضرة هي الأكثر حضوراً من حيث الغنى النوعي وعدد الأشجار، وبالتالي فقد تميزت بكتلة حيوية أكبر، وأسهمت بامتصاص أعلى نسبة من الكربون وإنتاج الأوكسجين الجدول (4). في حين أظهرت نتائج دراسة 9 حداثق حضرية في كوريا الجنوبية أن الأنواع متساقطة الأوراق كانت الأكثر تنوعاً وكفاءة في امتصاص الكربون مقارنة بالأنواع دائمة الخضرة (Eom *et al.*, 2025)، وشكلت الأنواع دائمة الخضرة في إحدى حداثق إيطاليا نسبة 35% من مجموع الأشجار (Fornaciari *et al.*, 2024)، وهي أنواع مخروطية أوراقها إبرية، في حين لم تتجاوز نسبة المخروطيات في الدراسة الحالية 5.41% من مجموع الأشجار. بشكل عام تتفق نتائج هذه الدراسة مع توصيات العديد من الباحثين، وهي أن دور الحداثق في التخفيف من انبعاثات CO₂ بشكل مستمر يتم من خلال زيادة الأشجار دائمة الخضرة التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي على مدار العام، ولاسيما في فصلي الخريف والشتاء، حيث تزداد حركة المرور وانبعاثات الملوثات ومنها CO₂ في بعض المدن الكبرى، وتقعد الأشجار متساقطة الأوراق أوراقها، وهذا ما يجعل دورها في عزل CO₂ محدوداً في الفترة من الربيع إلى الخريف (Gratani and Varone, 2006; Kim and Coseo, 2018; Ponti and Guglielmin, 2023; Savo *et al.*, 2025). وبالمقابل أظهرت دراسة (Tahir and Yousif, 2013) أن إنتاج الأكسجين يكون في ذروته في الأشهر الحارة وهي أيار وحزيران وتموز بسبب نشاط عملية التمثيل الضوئي التي يتم من خلالها امتصاص الكربون وإطلاق الأكسجين، بينما ينخفض هذا التركيز في الشتاء حيث تتساقط أوراق بعض الأشجار.

7. الأنواع المحلية والمدخلة في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂:

شكلت الأنواع المدخلة 84.11% مقابل 6.90% فقط للأنواع المحلية في الحداثق المدروسة الجدول (4). وتعد هذه النسبة مرتفعة مقارنة بدراسات أخرى، فقد شكلت الأنواع المحلية 59.52% مقابل 40.42% للأنواع المدخلة في حداثق مدينة فيصل آباد (Shafique *et al.*, 2023). وبشكل عام يعد العامل البشري هو المسؤول الرئيس عن هذه النسب، كما يتعلق الأمر بالأساليب الإدارية المتبعة وتفضيل أنواع محددة بسبب جمالها أو حسب المساحة المراد تشجيرها، وحسب التكاليف والإمكانات الاقتصادية المتاحة، ومع ذلك يوصي العديد من الباحثين باختيار الأنواع المحلية في تشجير المدن (Liu and slik, 2022; Savo *et al.*,

(2025)، ولا سيما في منطقة البحر المتوسط (D'Amato et al., 2025)، وبما أن المدن تتصف بارتفاع تراكيز الملوثات ومحدودية المساحات التي تدعم نمو الأشجار، لذا فلا بد من اختيار الأنواع التي تتمكن من النمو والتكيف ومقاومة الإجهادات من جهة، وتسهم في امتصاص ثاني أكسيد الكربون وتقليل تلوث الهواء من جهة أخرى، وفي هذا السياق تؤكد العديد من الدراسات فعالية الأنواع المحلية وأهميتها (Zubair et al., 2022; Rehman et al., 2025).

الجدول (4): توزيع الأشجار حسب الفئة ومساهمتها في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂ (نسبة مئوية%)

نوع الأشجار	عدد الأنواع	عدد الأشجار	الكتلة الحيوية	الكربون الممتص	الأوكسجين المنتج
دائمة الخضرة	54.84	62.07	70.51	70.51	70.51
متساقطة الأوراق	29.03	20.09	22.72	22.72	22.72
متساقطة الأوراق جزئياً	9.68	8.85	6.75	6.75	6.75
أنواع محلية	35.48	6.90	4.64	4.64	4.64
أنواع مدخلة	58.06	84.11	95.34	95.34	95.34
النخيل	6.45	9	0.02	0.02	0.02

8. دور الأنواع والفصائل السائدة في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂:

تميزت أشجار الكازورينا *Casuarina cunninghamiana* بأعلى قدرة على امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأوكسجين 257.47 و 187.32 طناً على التوالي، وبالرغم من أن التين اللامع *Ficus nitida* كان النوع السائد من حيث عدد الأشجار فقد جاء في المرتبة الثانية، ومن ثم الازدرخت *Melia azedarach* الجدول (5). كان متوسط قطر أشجار التين اللامع (12.24±24.28 سم) ومتوسط ارتفاعها (1.72±5.14 سم) وهو أقل من متوسط أقطار أشجار الكازورينا (9.42±39.57 سم) وارتفاعها (11.51±2.57 سم). تتفق هذه النتائج مع نتائج دراسات سابقة وأنواع مشابهة لهذه الدراسة، فقد كانت أشجار الازدرخت في بعض حدائق ملتان/باكستان ذات أقطار أصغر وبفروقات معنوية هامة مقارنة ببقية الأنواع، وبالتالي سجلت كتلة حيوية أقل وساهمت بامتصاص CO₂ بكفاءة أقل (Rehman et al., 2025). وبالمثل سجلت أشجار الجاكرندا *Jacaranda mimosifolia* في الأحزمة الخضراء في إسلام آباد قيماً أقل مقارنة ببقية الأنواع من حيث متوسط الارتفاع (9.17 م) ومتوسط القطر (29.91 سم) وبالتالي كان دورها محدوداً (Fatimah et al., 2024).

الجدول (5): مساهمة الأنواع والفصائل الأكثر حضوراً (السائدة) في الحدائق المدروسة

النوع	الكتلة الحيوية (طن)	ثاني أكسيد الكربون (طن)	إنتاج الأوكسجين (طن)
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	149.27	257.47	187.32
<i>Ficus nitida</i>	119.04	205.33	149.39
<i>Melia azedarach</i>	73.57	126.91	92.33
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	33.31	57.46	41.81
<i>Ligustrum ovalifolium</i>	7.82	13.49	9.81
الفصيلة			
Casuarinaceae	149.27	257.47	187.32
Moraceae	131.96	227.62	165.60
Meliaceae	73.57	126.91	92.33
Bignoniaceae	33.31	57.46	41.81
Oleaceae	8.08	13.94	10.14

كانت فصيلة الكازورينا Casuarinaceae أكثر فعالية في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂ الجدول (5)، بالرغم من أن الفصيلة التوتية Moraceae تميزت بكونها الأكثر تنوعاً من حيث عدد الأنواع وعدد الأشجار، إلا أنه سجلت فروقات معنوية بين متوسطات أقطار أشجار فصيلة الكازورينا (9.42 ± 39.57 سم) وارتفاعاتها (2.57 ± 11.51 م) مقارنة بأقطار أشجار الفصيلة التوتية (12.40 ± 24.11 سم) وارتفاعاتها (1.72 ± 5.25 م)، يتوافق هذا مع نتائج Sharma وآخرين (2024) في حرم جامعة البنجاب والتي تناولت فصائل وأنواعاً مماثلة مثل الفصيلة التوتية وكان من بين أنواعها *Ficus elastica* و *F. Benjamina* و *F. Morus alba* و *Elastica*، حيث سجلت الفصيلة التوتية قيماً أعلى مقارنة بالفصيلة الفولية Fabaceae الأكثر تنوعاً، ويعود السبب إلى امتلاك أشجار الفصيلة التوتية متوسطات أقطار أكبر من الفصيلة البقولية.

الاستنتاجات:

1. سادت الأنواع دائمة الخضرة من حيث الغنى النوعي وعدد الأشجار، وبالتالي فقد أسهمت في امتصاص النسبة الأكبر من CO₂ وإنتاج O₂.
2. تميزت أشجار الكازورينا *Casuarina cunninghamiana* بأعلى كفاءة في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂ في الحدائق المدروسة، تلتها أشجار التين اللامع *Ficus nitida* ومن ثم الازدرخت *Melia azedarach*.
3. بينت الدراسة أن دور النخيل محدود في امتصاص CO₂ وإنتاج O₂ مقارنة بالأنواع الأخرى، ما يستوجب الاستعاضة عنه بأنواع حراجية أخرى أكثر كفاءة في هذا المجال.
4. أظهرت الدراسة أن متوسط الارتفاع وعدد الأشجار ومتوسط القطر على ارتفاع الصدر من العوامل المؤثرة في امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين.
5. يوصى بمتابعة الدراسة لتشمل جميع الحدائق في مدينة طرطوس، وتقييم دور الأنواع الداخلة في تركيبها في عزل ثاني أكسيد الكربون وإنتاج الأكسجين، والبحث عن معادلات خاصة بالأنواع من أجل تقدير دورها في هذا المجال بدقة.
6. ترتبط الخصائص البنوية بشكل وثيق بخصائص الأشجار المورفولوجية حسب النوع والحجم النهائي للأشجار عند عمر معين، مع الأخذ بعين الاعتبار مدى إمكانية تكيفها مع بيئة المدن المجهدة، لذا يوصى بإجراء دراسات أخرى تأخذ بالحسبان هذا الجانب.

المراجع:

- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116, S119–S126. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)
- Bhatnagar, P. ; Barman, R. ; and George, J. P. (2024). Nature Based Solutions : Carbon Sequestration by Standing Trees in Urban Parks and Gardens of Katni City in Madhya Pradesh, India. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(1), 660–675. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i13881>
- Broi junior, C. C. Da.; Sampaio; M. B.; França, N. A. Batista, V. S., Oliveira, B. L. De., and Milaneze-Gutierrez, M. A. (2025). Carbon stock in an urban area afforested 50 years ago. *Revista Árvore*, 49(1). <https://doi.org/10.53661/18069088202549263919>
- Chang, C.-R. ; Chen, M.-C. ; and Su, M.-H. (2021). Natural versus human drivers of plant diversity in urban parks and the anthropogenic species-area hypotheses. *Landscape and Urban Planning*, 208, 104023. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.104023>

- Chisholm, P. J. ; and Gray, A. N. (2025). Populations of large-diameter trees are increasing across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(11), e2421780122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2421780122>
- D'Amato, L.; Bartoli, F., Savo, V.; and Caneva, G. (2025). Promoting native biodiversity: An evaluation of multifactorial and bioclimatic selection criteria for street trees in Italian cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 107, 128784. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128784>
- Dou, X. ; and Tang, M. (2025). Interactions of tree size, competition, and tree species drive carbon accumulation in subtropical mixed forests: A case study of the coniferous-broadleaved mixed forest in Tianmu Mountain. *Ecological Indicators*, 177, 113758. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113758>
- Eom, H. ; Shin, Y. ; Lee, S.-W. ; and An, K. (2025). Exploring Suitable Urban Plant Structures for Carbon-Sink Capacities. *Land*, 14, 849. <https://doi.org/10.3390/land14040849>
- Fan, L. ; Wang, J. ; Han, D. ; Gao, J. ; and Yao, Y. (2023). Research on Promoting Carbon Sequestration of Urban Green Space Distribution Characteristics and Planting Design Models in Xi'an. *Sustainability*, 15(1), 572. <https://doi.org/10.3390/su15010572>
- Fatimah, H. ; Farooq, S. ; Anwar, T. ; Qureshi, H. ; Hashmi, F. ; Ahmad, T. ; Ullah, N. ; Munazir, M. ; Naseem, M. T. ; and Soufan, W. (2024). Assessment of growth, biomass, and carbon sequestration potential of urban tree species in greenbelts. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1199. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05935-3>
- Feng, X. ; Wen, H. ; He, M. ; and Xiao, Y. (2023). Microclimate effects and influential mechanisms of four urban tree species underneath the canopy in hot and humid areas. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1108002. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1108002>
- Fini, A.; Frangi, P.; Faoro, M.; Piatti, R.; Amoroso, G.; and Ferrini, F. (2015). Effects of different pruning methods on an urban tree species: a four-year-experiment scaling down from the whole tree to the chloroplasts. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 664-674. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.06.011>
- Fini, A. ; Vigevari, I. ; Corsini, D. ; Wezyk, P. ; Bajorek-Zydrón, K. ; Failla, O. ; Cagnolati, E. ; Mielczarek, L. ; Comin, S. ; Gibin, M. ; Pasquinelli, A. ; Ferrini, F. ; and Viskanic, P. (2023). CO₂-assimilation, sequestration, and storage by urban woody species growing in parks and along streets in two climatic zones. *Science of The Total Environment*, 903, 166198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166198>
- Fornaciari, M. ; Muscas, D. ; Rossi, F. ; filipponi, M. ; Castellani, B. ; Di Giuseppe, A. ; Proietti, C. ; Ruga, L. ; and Orlandi, F. (2024). CO₂ Emission Compensation by Tree Species in Some Urban Green Areas. *Sustainability*, 16(9), 3515. <https://doi.org/10.3390/su16093515>
- Gomgnimbou, A. P. K.; Ouedraogo, W. O.; Sanon, A.; Kone, M.; Ilboudo, D.; and Nacro, H. B. (2019). Potentiel de séquestration du carbone par les espaces verts aménagés urbains de la ville de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences* 144: 14739 – 14746 ISSN 1997-5902. <https://doi.org/10.35759/JABs.v144.1>
- Gratani, L. (2020). Understanding the Benefits from Green Areas in Rome : The Role of Evergreen and Deciduous Species in Carbon Dioxide Sequestration Capability. *American Journal of Plant Sciences*, 11(08), 1307–1318. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.118093>
- Gratani, L. ; and Varone, L. (2006). Carbon sequestration by *Quercus ilex* L. and *Quercus pubescens* Willd. And their contribution to decreasing air temperature in Rome. *Urban Ecosystems*, 9(1), 27–37. <https://doi.org/10.1007/s11252-006-5527-2>

- Havu, M. ; Kulmala, L. ; Lee, H. S. ; Saranko, O. ; Soininen, J. ; Ahongshangbam, J. ; and Järvi, L. (2024). CO₂ uptake of urban vegetation in a warming Nordic city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 94, 128261. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128261>
- Heriyanto, N. M. ; and Subiandono, E. (2012). Komposisi dan Struktur Tegakan, Biomassa dan Potensi Karbon Hutan Mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 9(1), 23–32. <https://doi.org/10.20886/jphka.2008.5.3.239-249>.
- Hintural, W. P. ; Jeon, H. J. ; Kim, S. Y. ; Go, S. ; and Park, B. B. (2024). Quantifying Regulating Ecosystem Services of Urban Trees: A Case Study of a Green Space at Chungnam National University Using i-Tree Eco. *Forests*, 15(8), 1446. <https://doi.org/10.3390/f15081446>.
- Hou W. ; Zhang Y. ; Zhang Y. ; Yang F. ; and Wang H. (2024). Analysis of the Response of the Carbon Sequestration and Oxygen Release Benefits of Urban Green Space to Plant Community Characteristic Factors. *Landscape Architecture*, 31(6), 55–61. <https://doi.org/10.3724/j.fjyl.202312310600>.
- Kanniah, K. D. ; Abdullah, R. ; and Siong, H. C. (2022). Potential carbon storage and sequestration by urban trees in Malaysia. *Urban Forestry and Arboriculture in Malaysia*. P105-133. DOI :10.107/978-981-19-5418-4-6.
- Kim, G., and Coseo, P. (2018). Urban Park Systems to Support Sustainability: The Role of Urban Park Systems in Hot Arid Urban Climates. *Forests*, 9(7), 439. <https://doi.org/10.3390/f9070439>
- Lindén, L. ; Riikonen, A. ; Setälä, H. ; and Yli-Pelkonen, V. (2020). Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126633. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>
- Liu, C.; and Li, X. (2012). Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(2), p121-128. <http://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.03.002>
- Liu, J. ; and Slik, F. (2022). Are street trees friendly to biodiversity ? *Landscape and Urban Planning*, 218, 104304. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104304>
- Loho, M. A. ; Ayek, A. A. E. ; Alkhurajji, W. S. ; Eid, S., Rebouh; N. Y.; Abd-Elmaboud, M. E.; and Youssef, Y. M. (2025). Assessing Environmental Sustainability in the Eastern Mediterranean Under Anthropogenic Air Pollution Risks Through Remote Sensing and Google Earth Engine Integration. *Atmosphere*, 16(8), 894. <https://doi.org/10.3390/atmos16080894>
- Love, N. L. R. ; Nguyen, V. ; Pawlak, C. ; Pineda, A. ; Reimer, J. L. ; Yost, J. M. ; Fricker, G. A. ; Ventura, J. D. ; Doremus, J. M. ; Crow, T. ; and Ritter, M. K. (2022). Diversity and structure in California's urban forest: What over six million data points tell us about one of the world's largest urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127679. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127679>
- Lubis AR. 2011. Pendugaan cadangan karbon kelapa sawit berdasarkan persamaan allometrik di lahan gambut kebun meranti paham PT Perkebunan Nusantara IV Kabupaten Labuhan Batu Sumatera Utara. IPB University Scintific Repository- Bogor Indonesia.
- Ly, H. ; Wang, W. ; He, X. ; Wei, C. ; Xiao, L. ; Zhang, B. ; and Zhou, W. (2018). Association of urban forest landscape characteristics with biomass and soil carbon stocks in Harbin City, Northeastern China. *PeerJ*, 6, e5825. <https://doi.org/10.7717/peerj.5825>
- MANDAL, R. A. ; KHADKA, G. B. ; SHRESTHA, M. ; SAH, P. ; and Lamichhane, A. (2020). Modeling the diameter at breast height (DBH) with height and volume of *Shorea robusta*

- using destructive method: A study from Banke District, Nepal. *Discovery*, 56(293), 239-253.
- Manuri, S.; Brack, C.; Noor'an, F.; Rusolono, T.; Anggraini, S. M.; Dotzauer, H.; and Kumara, I. (2016). Improved allometric equations for tree aboveground biomass estimation in tropical dipterocarp forests of Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecosystems*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0087-2>
- Mazon, J. (2025). Integrating Urban Tree Carbon Sequestration into Metropolitan Ecosystem Services for Climate-Neutral Cities : A Citizen Science-Based Methodology. *Urban Science*, 9(11), 463. <https://doi.org/10.3390/urbansci9110463>.
- Meili, N. ; Manoli, G. ; Burlando, P. ; Carmeliet, J. ; Chow, W. T. L. ; Coutts, A. M. ; Roth, M. ; Velasco, E. ; Vivoni, E. R. ; and Fatichi, S. (2021). Tree effects on urban microclimate: Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58, 126970. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970>
- Morgenroth, J. ; Nowak, D. ; and Koeser, A. (2020). DBH Distributions in America's Urban Forests—An Overview of Structural Diversity. *Forests*, 11(2), 135. <https://doi.org/10.3390/f11020135>
- Muluneh, M. G. ; and Worku, B. B. (2022). Contributions of urban green spaces for climate change mitigation and biodiversity conservation in Dessie city, Northeastern Ethiopia. *Urban Climate*, 46, 101294. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101294>
- Nowak, D. J. ; Crane, D.E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), P381-389. [http://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](http://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7).
- Nowak, D. J. ; Greenfield, E. J. ; Hoehn, R. E. ; and Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- Nowak, D. J. ; Hoehn, R. ; and Crane, D. E. (2019). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Oxygen Production by Urban Trees in the United States*. May 2007. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.026>
- Nowak, D. ; Hoehn, R. ; and Crane, D. (2007). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(3), 220–226. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.026>
- Nowak, D.J. ; R. Hoehn; D.E. Crane; J.C. Stevens; and J.T. Walton. (2006). Assessing Urban Forest Effects and Values : Minneapolis' Urban Forest. Resource Bulletin NE-166. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Newtown Square, PA. 20 pp.
- Ononyume, M. O. ; and Edu, E. A. B. (2025). Assessment of growth, biomass, and carbon sequestration potential of three urban tree species in Calabar. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.17390404>
- Perez, A. M. ; Maul, D. P. ; and Cendan, L. A. (2022). Biomass and Carbon Capture in Trees at Amelia Earhart Park, Miami Dade County, Florida, US. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 3(6), 18–22. <https://doi.org/10.24018/ejgeo.2022.3.6.348>
- Ponti, S., and Guglielmin, M. (2023). How can the floor area types of a university campus mitigate the increase of urban air temperature ? *Landscape and Ecological Engineering*, 19(3), 485–501. <https://doi.org/10.1007/s11355-023-00553-x>

- Rehman, Z. ; Zubair, M. ; Dar, B. A. ; Habib, M. M. ; Abd-Elgawad, A. M. ; Yasin, G. ; Gilani, M. M. ; Malik, J. A. ; Rafique, M. T. ; and Jahanzaib, J. (2025). Urban Parks and Native Trees: A Profitable Strategy for Carbon Sequestration and Climate Resilience. *Land*, 14(4), 903. <https://doi.org/10.3390/land14040903>
- Savo, V. ; D'Amato, L. ; Bartoli, F. ; Zappitelli, I. ; and Caneva, G. (2025). Evaluation of main regulating, provisioning, and supporting ecosystem services of urban street trees : A literature review. *Ecosystem Services*, 71, 101690. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101690>.
- Shafique, M. U. ; Younis, A. ; Asif, M. ; and Hameed, M. (2023). Impact of time scale on plantation pattern : An approach to access tree diversity changes in urban parks. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 60(03), xxx-xxx. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/23.35>
- Sharma, S. ; Hussain, S. ; Kumar, P. ; and Singh, A. N. (2024). Urban trees' potential for regulatory services in the urban environment: An exploration of carbon sequestration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(6), 504. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12634-x>
- Sitoe, A. ; Mandlate, L. ; and Guedes, B. (2014). Biomass and Carbon Stocks of Sofala Bay Mangrove Forests. *Forests*, 5(8), 1967–1981. <https://doi.org/10.3390/f5081967>
- Suchocka, M. ; Heciak, J. ; Blaszczyk, M. ; Adamczyk, J. ; Gaworski, M. ; Gawlowska, A. ; Mojski, J. ; Kalaji, H. M. ; Kais, K. ; Kosno-Jonczy, J. ; and Heciak, M. W. (2023). Comparison of Ecosystem Services and Replacement Value calculations performed for urban trees. *Ecosystem Services*, 63, 101553. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101553>
- Sun, Y. ; Xie, S. ; and Zhao, S. (2019). Valuing urban green spaces in mitigating climate change : A city-wide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's Capital. *Global Change Biology*, 25(5), 1717–1732. <https://doi.org/10.1111/gcb.14566>
- Tahir, H. M. M.; and Yousif, T. A. (2013). Modeling the effect of Urban Trees on Atmospheric Oxygen Concentration in Khartoum State. *Journal of natural resources and environmental studies*, vol.1. 2, PP 7-12.
- Tang, Y. ; Chen, A. ; and Zhao, S. (2016). Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 4. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00053>
- Wang, X. ; Xue, W. ; Ruan, Y. ; Cheng, M. ; and Ma, S. (2026). Estimation of carbon storage and influencing factors for urban green spaces: A view of green space types and plant community structure. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1642030. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1642030>
- Wang, Y. ; Yu, J. ; Wei, W. ; and Dong, N. (2024). A Multi Source Data-Based Method for Assessing Carbon Sequestration of Urban Parks from a Spatial–Temporal Perspective : A Case Study of Shanghai Century Park. *Land*, 13(11), 1914. <https://doi.org/10.3390/land13111914>
- Yu, L. ; LI, W. ; Zheng, C. ; and Lin, X. (2025). Quantifying the Carbon Reduction Potential of Urban Parks Under Extreme Heat Events Using Interpretable Machine Learning : A Case Study of Jinan, China. *Atmosphere*, 16(1), 79. <https://doi.org/10.3390/atmos16010079>
- Zaman, Md. R. ; Rahman, Md. S. ; Ahmed, S. ; and Zuidema, P. A. (2023). What drives carbon stocks in a mangrove forest ? The role of stand structure, species diversity and functional traits. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 295, 108556. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108556>
- Zhao, D.; Cai, J.; Shen, S.; Liu, Q.; and Lan, Y. (2024). Nature- based solutions: Assessing the carbon sink potential and influencing factors of urban park plant communities in the

temperate monsoon climate zone. Science of the total Environment 950(10), 175347. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175347>

Zubair, M. ; Yasin, G. ; Qazlbash, S. K. ; UL Haq, A. ; Jamil, A. ; Yaseen, M. ; Rahman, S. U. ; and Guo, W. (2022). Carbon Sequestration by Native Tree Species around the Industrial Areas of Southern Punjab, Pakistan. Land, 11(9), 1577. <https://doi.org/10.3390/land11091577>.

The role of urban green spaces in sequestering and absorbing carbon dioxide (CO₂) and producing oxygen (O₂) in Tartous city

Abeer moussa^{1*}, Zuheir Shater¹ and Basima Alcheikh¹

¹ Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agricultural Engineering, Latakia University, Lattakia, Syria.



(*Corresponding author: Abir Moussa, Email: Abeerceta@gmail.com)

Received: 8/05 /2026

Accepted: 12/07/2026

Abstract

Trees in urban green spaces play a vital role in CO₂ management and pollution mitigation. This study, conducted in Tartous City, aimed to estimate the amount of carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) absorbed and produced by park trees. Thirty-five parks were selected, and all trees were inventoried, with height and diameter measured at chest height. Biomass, CO₂ absorption, and oxygen production were then estimated. The results showed that the garden trees absorbed 883.61 tons of CO₂ (25.25 ± 22.03) and produced 642.81 tons of oxygen (18.37 ± 16.03). Al-Baraniyah Park demonstrated the highest efficiency in both carbon absorption (104.19) and oxygen production (75.80) in the studied parks. Evergreen species were the most prevalent in the studied parks, exhibiting greater biomass and contributing the highest percentage of carbon absorption and oxygen production. Casuarina cunninghamiana, Ficus nitida, and Melia azedarach trees ranked first in CO₂ absorption (257.47, 205.33 and 126 tons respectively) and in oxygen production (187.32, 149.39 and 92.33 tons respectively). The results confirmed the limited role of palm trees in CO₂ absorption compared to other tree species. Structural characteristics, height, diameter at chest height, and number of trees were key factors explaining the differences in this environmental service provided by the studied parks. The study recommends completing an inventory of all green spaces in the city, taking into account species-specific characteristics and their ability to withstand stressful urban environmental conditions. It also recommends developing species-specific equations to accurately estimate their role in CO₂ absorption.

Keywords: Biomass, urban green spaces, oxygen production, CO₂ sequestration and absorption.