Journal of International Architectural Sciences
JIArcS, 2025, 2 (1): 81-93
Research Article
https://mimarlikbilimleri.com/ojs/index.php/architecturalsciences
E-mail: architecturalsciences@gmail.com
e-ISSN: 3062-1399

Yarı Kurak Kentlerde İklim Dayanımlı Ağaç Türü Seçimi: Değişen İklim Koşullarında Stratejik Yeşil Altyapı Planlaması

Şevket ALP[1]*, Nurbanu ÖZKARTAL[2]
ORCID 1: 0000-0002-9552-4848
ORCID 2: 0000-0002-6747-6498
[1] Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape Architecture, 65080, Van, Türkiye.
[2] Siirt University, School of Design, Department of Design, 56100, Siirt, Türkiye.
** e-mail:alpsevket@yyu.edu.tr*

Öz

Yarı kurak iklim kuşağında yer alan kentler, artan sıcaklık dalgaları, azalan yağış rejimleri ve su kaynakları üzerindeki baskılar nedeniyle iklim değişikliğine karşı giderek daha savunmasız hale gelmektedir. Bu çalışma, söz konusu kırılgan yapılar karşısında iklime dirençli yeşil altyapı planlamasında stratejik bir araç olarak kullanılabilecek, çok kriterli bir tür seçimi modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Literatür taraması ve güncel mekânsal modelleme yaklaşımlarına dayalı olarak geliştirilen bu çerçevede; iklim dayanıklılığı, ekosistem hizmeti üretim kapasitesi, mikroklimayla uyum ve estetik-yapısal uygunluk olmak üzere dört temel kriter belirlenmiştir. Karar destek sistemleri (DSS), iklim projeksiyonları (RCP senaryoları), tür yayılım modellemeleri (SDM) ve yerel eşiklere dayalı analizler ile uygun tür portföyleri önerilmiştir. Araştırma bulguları, geleneksel, estetik veya düşük maliyet odaklı tür seçimi pratiklerinin iklim senaryoları karşısında yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Önerilen model, hem çevresel hem de toplumsal ölçekte sürdürülebilir, dirençli ve çok işlevli kentsel peyzajların geliştirilmesi için kapsamlı bir karar çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *İklime dayanıklı ağaç türleri, Yarı kurak kentsel ekosistemler, Yeşil altyapı, Ekolojik dayanıklılık, Sürdürülebilir peyzaj planlaması***.**

Climate-Resilient Tree Species Selection in Semi-Arid Cities: Strategic Green Infrastructure Planning Under Changing Climate Conditions

Abstract

Cities located in semi-arid climate zones are becoming increasingly vulnerable to climate change due to rising heat waves, decreasing rainfall patterns, and pressures on water resources. This study aims to develop a multi-criteria species selection model that can be used as a strategic tool in climate-resilient green infrastructure planning in response to these fragile structures. Based on a literature review and current spatial modeling approaches, this framework identifies four key criteria: climate resilience, ecosystem service production capacity, microclimate compatibility, and aesthetic-structural suitability. Decision support systems (DSS), climate projections (RCP scenarios), species distribution modeling (SDM), and analyses based on local thresholds have been used to propose suitable species portfolios. Research findings indicate that traditional, aesthetic, or low-cost-focused species selection practices may be inadequate in the face of climate scenarios. The proposed model provides a comprehensive decision-making framework for developing sustainable, resilient, and multifunctional urban landscapes at both environmental and societal scales.

Keywords: *Climate-resilient tree species, Semi-arid urban ecosystems, Green infrastructure, Ecological resilience, Sustainable landscape planning*.

Citation: Alp, Ş. & Özkartal, N. (2025). Climate-resilient tree species selection in semi-arid cities: Strategic green infrastructure planning under changing climate conditions. *Journal of International Architectural Sciences***.** 2 (1): 81-93.

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.16389803

Received: *June 19, 2025 –* ***Accepted:*** *July 25, 2025*

1. Giriş

21. yüzyılın en kritik çevresel sorunlarından biri olan iklim değişikliği, yalnızca doğal ekosistemleri değil, aynı zamanda insan yaşamının yoğunlaştığı kent mekânlarını da ciddi biçimde tehdit etmektedir. Artan sıcaklık dalgaları, kuraklık sürelerinin uzaması, yağış rejimlerinde yaşanan düzensizlikler, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilikteki azalma gibi çoklu çevresel tehditler, özellikle yarı kurak iklim kuşağında yer alan kentlerde daha belirgin biçimde hissedilmektedir (Zscheischler ve diğerleri, 2018). Bu koşullar altında, geleneksel kent planlama ve peyzaj tasarımı yaklaşımlarının yetersiz kaldığı; yeni, adaptif, doğa temelli ve veri destekli planlama sistemlerine duyulan gereksinimin arttığı görülmektedir. Bu bağlamda, kent içi yeşil altyapı sistemlerinin yeniden düşünülmesi, iklim uyumunu ve kentsel dayanıklılığı artıracak şekilde stratejik biçimde tasarlanması zorunluluk haline gelmiştir.

Yeşil altyapı, su yönetimi, hava kalitesinin iyileştirilmesi, mikroklima düzenlemesi, gıda üretimi, psikolojik sağlık ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çok yönlü işlevler üstlenerek, kentlerin ekolojik sürdürülebilirliğini artıran temel yapısal sistemlerdir (Sturiale & Scuderi, 2019; Viljoen & Bohn, 2014). Bu altyapının en önemli bileşenlerinden biri olan kentsel ağaçlandırma, iklim değişikliğine karşı hem doğrudan hem de dolaylı adaptasyon kapasitesi sunmaktadır. Özellikle yarı kurak bölgelerde; su tutma kapasitesi yüksek, gölge sağlayan, evapotranspirasyon yoluyla soğutma etkisi yaratan, karbon sekestrasyonu yapan ve habitat sunan ağaç türleri hem insan hem de doğa yararına hizmet eden çoklu faydaların üreticisi konumundadır (Paudel & States, 2023).

Ancak bu çoklu faydaların gerçekleşebilmesi, seçilecek ağaç türlerinin sadece estetik veya geleneksel tercihlere göre değil, mevcut ve gelecekteki iklim senaryoları, ekosistem hizmetleri kapasitesi, kentsel mikroklima ile uyumluluk ve yapısal işlevsellik gibi çok katmanlı kriterlere göre belirlenmesini zorunlu kılmaktadır (Hirons & Sjöman, 2019). Nitekim yapılan araştırmalar, geçmişte sıklıkla kullanılan türlerin, artan sıcaklık ve azalan su kaynakları karşısında stres toleransı bakımından yetersiz kaldığını, hatta bazı türlerin artık yayılış sınırlarının dışına itildiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla ağaç türü seçimi artık yalnızca bir estetik karar değil, aynı zamanda kentlerin gelecekteki ekolojik sağkalımını belirleyen stratejik bir planlama meselesidir.

Yarı kurak kentlerde karşılaşılan temel iklimsel sorunlar arasında sıcaklık dalgaları, toprak kuraklığı, düşük bağıl nem, artan buharlaşma oranları ve düzensiz yağışlar yer almaktadır. Bu koşullar, ağaçların fizyolojik dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkili olmakta; stomal kapanma, fotosentez hızında düşüş, ksilem embolisi ve yaprak dökümü gibi stres tepkilerini tetiklemektedir (Yadav ve diğerleri, 2024). Özellikle geniş yapraklı ve hızlı büyüyen türler, su eksikliği karşısında daha kırılgan hale gelirken; dar yapraklı, derin köklü veya kuraklığa özgü morfolojik adaptasyonlara sahip türler daha avantajlı hale gelmektedir. Bu nedenle tür seçimi, sadece tür içi özelliklerle değil, aynı zamanda peyzajın topografyası, toprak yapısı, yönlenme, rüzgar etkisi gibi alan parametreleriyle birlikte değerlendirilmelidir.

Kent içi ağaçlandırma aynı zamanda sosyal boyutları da içinde barındıran bir müdahaledir. Yapılan araştırmalar, kent parklarının, sokak ağaçlarının ve yeşil kuşakların insanların psikolojik sağlığı, stres azaltımı, toplumsal aidiyet hissi ve kamusal etkileşim düzeyleri üzerinde pozitif etkiler yarattığını göstermektedir (Soga ve diğerleri, 2017). Özellikle düşük gelirli ve sosyal olarak dezavantajlı bölgelerde yeşil alanlara erişimin sınırlı olması, iklim adaletsizliğini derinleştirmektedir. Bu nedenle tür seçimi ve yeşil altyapı planlaması aynı zamanda sosyal eşitlik, erişilebilirlik ve adil kentleşme ilkeleriyle de örtüşmelidir.

Bu çalışma, yukarıda çizilen çerçeveden hareketle, yarı kurak iklim kuşağındaki kentlerde ağaç türü seçiminin nasıl daha stratejik, ekolojik ve iklim dayanıklı hale getirilebileceğini analiz edilmiştir. Literatür taramasına, örnek tür veri analizlerine ve iklim senaryosu göre değerlendirme sistemlerine dayalı olarak geliştirilen analizde, şu sorulara yanıt aramaktadır:

- Gelecekteki iklim projeksiyonlarına göre, hangi ağaç türleri yarı kurak kent koşullarına en uygun adaptasyon özelliklerine sahip olabilir?
- Ekosistem hizmetleri açısından en yüksek çoklu faydayı sağlayabilecek türler nasıl sınıflandırılabilir?

- Tür seçiminde karar destek sistemleri (DSS), tür yayılım modellemeleri (SDM), yapay zekâ (AI) ve veri madenciliği teknikleri nasıl kullanılabilir?
- Bu yaklaşımlar yerel planlama süreçleriyle nasıl bütünleştirilebilir?

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, yarı kurak iklim kuşağında yer alan kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyumlu ağaç türlerinin belirlenmesi amacıyla çok kriterli bir değerlendirme modeli geliştirmeyi hedeflemektedir. Yöntemsel yaklaşım, literatür taramasına dayalı nitel analizler ile mekânsal ve karar destek temelli nicel tekniklerin bütünleşik biçimde kullanımını kapsamaktadır. Bu doğrultuda, çalışma dört temel aşamada yapılandırılmıştır:

(1) Veri Toplama: Tür özellikleri, habitat gereksinimleri, iklim toleransları ve ekosistem hizmeti potansiyellerine ilişkin veriler, uluslararası veri tabanlarından (örn. i-Tree, TRY Plant Trait Database, TreeE-DSS) ve literatür kaynaklarından derlenmiştir. Ayrıca, örnek türlerin geçmiş performans kayıtları ve herbaryum verileri incelenmiştir.

(2) İklim Verilerinin Kullanımı: Geleceğe yönelik tür uygunluk analizlerinde, IPCC tarafından önerilen RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları doğrultusunda, sıcaklık ve yağış parametreleri temel alınarak bölgesel iklim projeksiyonları değerlendirilmiştir.

(3) Analitik Çerçeve Geliştirme: Tür değerlendirme süreci dört ana eksen altında yapılandırılmıştır: iklim dayanıklılığı, ekosistem hizmetleri üretim kapasitesi, mikroklimatik ve altyapısal uyum, estetik ve kültürel kabul. Bu eksenler, türlerin fonksiyonel rollerine göre karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

(4) Çok Kriterli Değerlendirme: Belirlenen kriterlere göre, aday türlerin çok kriterli değerlendirme matrisleri aracılığıyla sıralanması yapılmış; önerilen tür portföyleri yerel koşullara ve gelecek projeksiyonlarına göre gruplandırılmıştır.

Bu yapı, sadece türlerin biyofiziksel özelliklerini değil; aynı zamanda toplumsal kabul düzeylerini, bakım gereksinimlerini ve kentsel altyapı ile olan ilişkilerini de göz önüne alarak bütüncül bir değerlendirme modeli sunmaktadır.

2.1. Kentlerde Ağaç Seçimi: Ekolojik ve Stratejik Bir Yaklaşım

Bu çalışmada, ağaç türlerinin seçiminde kullanılacak değerlendirme çerçevesi dört ana kriter altında modellenmiştir. Kentlerde ağaç seçimi, sadece estetik veya gölgeleme amacıyla yapılan basit bir karar olmaktan çıkmış; çok boyutlu, bilimsel ve stratejik bir planlama süreci hâline gelmiştir. Artık iklim değişikliğine karşı dirençli, ekosistem hizmetlerini maksimum düzeyde sunabilen ve kentsel altyapıyla uyumlu türlerin belirlenmesi, sürdürülebilir kentsel yeşil alan yönetiminin vazgeçilmez bileşenlerinden biridir (Hirons & Sjöman, 2019).

Bu bağlamda ağaç seçimi süreci hem ekolojik temelli hem de stratejik planlamaya entegre edilmesi gereken dört temel ilkeye dayandırılmalıdır:

2.1.1. İklim dayanıklılığı: türün geleceğe uyum yeteneği

Küresel ısınma, kentlerde sıcak hava dalgalarının sıklığını ve şiddetini artırmakta; değişen yağış rejimleri, su kaynaklarının azalması ve toprak tuzluluğunun artması gibi birbirini tetikleyen çevresel baskılar, kent ağaçlarının sağkalımını çoklu stres faktörleri altında tehdit etmektedir (Zscheischler ve diğerleri, 2018). Bu nedenle tür seçimi, yalnızca günümüz koşullarına değil, gelecekteki iklim senaryolarına da dayanmalıdır.

• Kuraklık Toleransı: Derin kök sistemi, düşük yaprak yüzeyi su kaybı ve su kullanım verimliliği yüksek türler (örn. *Quercus ilex L.*, *Albizia julibrissin Durazz*.) öncelikli olarak değerlendirilmelidir.

• Isı Toleransı: Fotosentetik aktivitesini 35°C üzeri sıcaklıklarda sürdürebilen türler tercih edilmelidir.

• Toprak ve Rüzgâr Direnci: Tuzluluğa ve kent içi rüzgâr koridorlarına dirençli türlerin seçimi, özellikle açık alanlar için kritiktir.

Bu yaklaşım, tür seçimini zamana bağlı bir “iklim adaptasyon stratejisi” olarak yeniden tanımlar.

2.1.2. Ekosistem hizmeti üretimi: türlerin fonksiyonel rolü

Ağaçlar, kent ekosistemlerinde gölgeleme, karbon yutaklığı, yağmur suyu yönetimi, hava temizliği, toz filtreleme ve biyolojik çeşitliliğe katkı gibi pek çok ekosistem hizmeti sunmaktadır (Yadav ve diğerleri, 2024). Ancak her tür bu hizmetleri aynı düzeyde sağlamaz; bazı türler bir veya birkaç hizmette uzmanlaşmıştır.

Bu nedenle ağaç seçimi sürecinde:

- Karbon Sekestrasyonu: Geniş ve yoğun taç yapısına sahip türler tercih edilmelidir.
- Gölgeleme ve Soğutma: Yüksek evapotranspirasyon oranına sahip türler ısı adası etkisini azaltmada etkilidir (örn. *Tilia tomentosa Moench*., *Platanus orientalis L*.).
- Polinatör Desteği: Arılar ve diğer tozlayıcılar için çiçekli, nektar sağlayan türler (örn. *Sophora japonica L*.) stratejik olarak yerleştirilmelidir.
- Su Yönetimi: Gözenekli kök yapısı ile geçirgenliği artıran türler (örn. *Celtis australis L*.) yağmur suyunun toprağa süzülmesini kolaylaştırır.

Stratejik planlama, her bölgenin ihtiyacına göre farklı türleri "fonksiyonel mozaik" anlayışıyla harmanlamalıdır.

2.1.3. Mikroklimatik ve altyapısal uyum

Kentlerde tür seçimi yalnızca iklimle değil, fiziksel altyapı ile de uyumlu olmalıdır. Ağaçların kökleri kaldırımları kaldırmamalı, dalları trafik güvenliğini tehlikeye atmamalı ve budama ihtiyacı kent bütçesini zorlamamalıdır (Schutzki, 2005). Ayrıca bitkinin yaprak dökme zamanı, meyve üretimi, alerjen potansiyeli gibi konular da toplumsal sağlığı doğrudan etkileyebilir.

Bu nedenle:

- Kök Yapısı: Yüzeysel ve agresif kök sistemine sahip türler yoğun yaya kullanımı olan alanlardan uzak tutulmalıdır.
- Budama İhtiyacı: Kontrollü büyüyen ve sık budama istemeyen türler bakım maliyetini azaltır.
- Altyapı ile Çakışma: Elektrik hatları, kanalizasyon boruları ve yürüyüş yolları ile çatışmayan büyüme formuna sahip türler seçilmelidir.

Stratejik yaklaşım, biyolojik faktörlerle birlikte mühendislik ve kullanıcı deneyimini bütüncül olarak dikkate alır.

2.1.4. Estetik ve kültürel uyum

Kent kullanıcılarının ağaçlara karşı geliştirdiği duygusal ve kültürel bağlar, yeşil alanların sürdürülebilir kullanımı açısından oldukça önemlidir. Bazı türler, mevsimsel renk değişimleri, çiçeklenme dönemleri veya tarihi-kültürel çağrışımları nedeniyle halk tarafından daha çok benimsenmekte; bu da kent yeşil dokusunun sahiplenilme ve korunma düzeyini artırmaktadır (Pfeiffer & Cloutier, 2016). Bu da seçilen türlerin bakım, korunma ve benimsenme oranını doğrudan etkiler.

Örneğin:

- *Acer campestre L*. gibi sonbaharda yaprakları kızaran türler mevsimsel farkındalığı artırır.
- *Koelreuteria paniculata Laxm*. gibi yaz ortasında çiçeklenen türler estetik değer sunar.
- Yerli türlerin kullanımı, kültürel bağlam ve yerel ekosistemle uyumu güçlendirir.

Estetik değerleri yüksek, ama aynı zamanda ekolojik ve teknik gereksinimleri karşılayan türlerin stratejik planlamada öncelikli olması gerekir.

2.2. Stratejik Planlama Süreci: Bütüncül Tür Değerlendirme Modeli

Bu çalışmada geliştirilen çok kriterli değerlendirme modeli, iklimsel, ekolojik, altyapısal ve sosyo-kültürel boyutları eşzamanlı ele alan bütüncül bir tür seçim yaklaşımına dayanmaktadır. Yukarıda

açıklanan dört temel değerlendirme ekseni doğrultusunda, kent özelinde uygulanabilecek bir "çok kriterli tür seçimi matrisi" önerilmektedir. Bu matris; planlamacıların karar alma süreçlerinde bilimsel temele dayalı, nesnel ve uygulamaya geçirilebilir bir rehber sunmayı amaçlamaktadır.

Modelin temel uygulama adımları şunlardır:

- İklimsel Uyum Analizi: Çalışma alanının iklim profili, hakim stres faktörleri (kuraklık, sıcaklık dalgaları, rüzgâr, tuzluluk vb.) doğrultusunda belirlenir.
- Fonksiyonel İhtiyaçların Tanımlanması: Gölgeleme, karbon yutaklığı, su yönetimi, görsel etki, biyoçeşitlilik desteği gibi işlevsel beklentiler analiz edilir.
- Tür Filtreleme Süreci: Belirlenen kriterler doğrultusunda, aday ağaç türleri i-Tree, TRY Plant Trait Database, TreeE-DSS gibi bilimsel veri tabanları üzerinden filtrelenir.
- Toplumsal ve Kültürel Uyumun Gözden Geçirilmesi: Yerel kullanıcıların tercihleri, estetik beklentileri ve kültürel bağlam göz önüne alınarak sosyal kabul düzeyi değerlendirilir.
- Pilot Uygulama ve İzleme: Seçilen türler öncelikli olarak pilot bölgelerde uygulanarak, yerinde gözlem ve geri bildirimlerle performans değerlendirmesi yapılır.

Bu sistematik yapı sayesinde, tür seçim süreçleri yalnızca bilimsel verilere değil; aynı zamanda toplumsal gerçekliğe ve uygulama koşullarına da entegre edilir. Böylece hem dirençli hem de katılımcı bir yeşil altyapı planlaması için uygulanabilir bir yol haritası oluşturulmuş olur.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, geliştirilen değerlendirme modelinin kent ağaçlandırma uygulamaları üzerindeki etkileri değerlendirilmekte ve önerilen sistemin literatürle uyumu tartışılmaktadır. Bu analizde, yarı kurak kentlerde iklim değişikliğine uyumlu ağaç türlerinin belirlenmesine yönelik çok kriterli bir değerlendirme yaklaşımı sunulmuş ve tür seçimi sürecinin sadece estetik veya geleneksel alışkanlıklara değil, iklim dayanıklılığı, ekosistem hizmetleri üretimi, mikroklimatik uyum ve yapısal-estetik nitelikler gibi bütüncül kriterlere dayanması gerektiği vurgulanmıştır. Bu bulgular, çağdaş kent peyzajı literatüründe giderek artan şekilde savunulan iklim-temelli planlama yaklaşımlarıyla paralellik göstermektedir (Hirons & Sjöman, 2019).

3.1. Tür Seçiminde Paradigma Değişimi

Geleneksel tür seçimi uygulamalarında, kentlerde hızlı büyüyen, bol gölgeli ve estetik açıdan cezbedici türler öncelikli olarak tercih edilmiştir. Ancak bu yaklaşım, iklim değişikliği koşulları altında sıklıkla başarısız olmuş; özellikle monokültür uygulamaları zararlılar, hastalıklar ve su stresi gibi tehditlere karşı kırılganlık yaratmıştır (Conway & Vander Vecht, 2015). Bu bağlamda önerilen çok kriterli değerlendirme sistemi, karar vericilerin tür seçimi sürecini bilimsel verilerle donatılmış, çok boyutlu ve sürdürülebilir biçimde yönetmesine olanak tanımaktadır. Söz konusu değerlendirme sistematiği içerisinde, türlerin çevresel strese verdiği fizyolojik tepkilerin kantitatif olarak ölçümlenmesi, seçim sürecini daha nesnel ve bilim temelli bir zemine oturtmaktadır. Sjöman ve diğerleri (2018), özellikle zorlu kentsel koşullarda kullanılacak türlerin seçiminde bu tür fizyolojik parametrelerin karar sürecine entegre edilmesinin güvenilirliği artırdığını vurgulamaktadır.

3.2. Yarı Kurak Kentlerde İklim Uyumlu Türler Üzerine Yorum

Analizde önerilen türlerin çoğu, derin kök sistemleri, fizyolojik kuraklık toleransı, kompakt taç yapıları ve düşük su gereksinimleri ile yarı kurak kentsel iklim koşullarına uyum sağlamaktadır (Tablo 1'de özetlendiği gibi). Örneğin *Quercus ilex* L., Akdeniz kökenli olması nedeniyle ısıya, kuraklığa ve toprak tuzluluğuna karşı oldukça dirençli bir türdür. *Gleditsia triacanthos* L. ise hem çevresel toleransları hem de altyapıya zarar vermeyen kök yapısıyla kentsel planlamada öne çıkmaktadır.

Ayrıca, türlerin sadece bireysel dayanıklılıkları değil, ekosistem işlevleri açısından da değerlendirilmesi gerektiği tartışmanın önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Örneğin *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott ve *Robinia pseudoacacia* L. gibi azot bağlayan türler, yoksul topraklarda bile sürdürülebilir büyümeyi desteklerken aynı zamanda toprak kalitesini iyileştirmektedir. Bu çerçevede, Hutt-Taylor ve

diğerleri (2024) tarafından çalışmada, kentsel orman yönetiminin yalnızca karbon çözümleri üretmekle kalmayıp, aynı zamanda kuş çeşitliliği gibi biyolojik zenginliklerin korunmasına da katkı sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, önerilen çok kriterli tür seçim modelinin ekolojik yönünü güçlendirerek; türlerin iklimsel uyumun ötesinde, biyoçeşitlilik destekleyici işlevleri bakımından da değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Tablo 1. Yarı kurak iklim kuşağındaki kentsel alanlar için önerilen bazı ağaç türlerinin çok kriterli değerlendirme eksenlerine göre karşılaştırması.

Tür Adı	İklim Dayanıklılığı	Ekosistem Hizmeti Kapasitesi	Altyapı Uyumu	Estetik ve Kültürel Değer	Kaynaklar
Quercus ilex L.	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Paudel & States, 2023; Hirons & Sjöman, 2019; Sjöman et al., 2018
Albizia julibrissin Durazz.	Orta–Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Hirons & Sjöman, 2019
Gleditsia triacanthos L.	Yüksek	Orta–Yüksek	Yüksek	Orta	Conway & Vander Vecht, 2015; Hirons & Sjöman, 2019
Styphnolobium japonicum (L.) Schott	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Hutt-Taylor et al., 2024
Robinia pseudoacacia L.	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Hutt-Taylor et al., 2024
Celtis australis L.	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta–Yüksek	Sjöman et al., 2018; Hirons & Sjöman, 2019

Bu tabloda, analiz sürecinde vurgulanan 5 türün çok kriterli değerlendirme eksenlerine göre genel nitelikleri özetlenmiştir. Veriler literatürden derlenmiş ve metin içi tartışmalarla ilişkilendirilmiştir.

Bu türler, yarı kurak kentsel iklim koşullarında hem iklim dayanıklılığı hem de ekosistem işlevselliği bakımından öne çıkan örneklerdir. Türlerin değerlendirilmesinde, yalnızca çevresel toleransları değil, aynı zamanda altyapı ile uyumluluk, toplumsal kabul ve estetik katkı gibi çok boyutlu kriterler dikkate alınmıştır. Tablo, türlerin stratejik planlamaya nasıl entegre edilebileceğine dair öngörü sağlamanın yanı sıra, kent peyzajı uygulayıcılarına tür seçimi konusunda karşılaştırmalı bir bakış açısı sunmaktadır. Ayrıca, bu türlerin sahada uygulanabilirliği, bakım gereksinimleri ve kullanıcı deneyimleri gibi yönlerin de dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır.

3.3. Ekosistem Hizmetlerinin Stratejik Önemi

Kent ağaçları, kent sakinlerinin yaşam kalitesini artıran sayısız hizmet sunmaktadır: yaz sıcaklarını hafifletme, karbon yutak alanı oluşturma, hava kalitesini iyileştirme, gürültü azaltma, biyolojik çeşitliliği destekleme ve psikolojik iyilik hali sağlama gibi. Zhao ve diğerleri (2024) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı literatür incelemesi, doğa temelli çözümlerin (Nature-Based Solutions, NBS) kentsel orman planlamasında yalnızca iklim değişikliğine uyum açısından değil; aynı zamanda ekosistem hizmetlerinin sistematik ve mekânsal olarak dengeli entegrasyonu açısından da stratejik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Söz konusu çalışmada, NBS yaklaşımlarının, sürdürülebilir kentsel ormancılık uygulamalarıyla entegre edilerek çevresel, sosyal ve yönetişimsel boyutları aynı anda optimize etme potansiyeline sahip olduğu vurgulanmaktadır. Ancak buna rağmen, bu hizmetlerin kent genelinde eşit şekilde dağılmadığı; sosyo-ekonomik eşitsizliklerin olduğu bölgelerde yeşil altyapıya erişimin ciddi biçimde kısıtlandığı bildirilmektedir (Jennings ve diğerleri, 2017). Sosyo-ekonomik eşitsizliklerin yüksek olduğu bölgelerde yeşil alanlara erişim sınırlıdır. Dolayısıyla iklim dirençli türlerin bu alanlara öncelikli

olarak entegre edilmesi, aynı zamanda iklim adaleti ve toplumsal eşitlik bakımından da önemlidir (Yadav ve diğerleri, 2024).

3.4. Karar Destek Sistemlerinin Rolü

Son yıllarda karar vericilerin tür seçimini daha nesnel ve bilimsel temelde yapabilmeleri amacıyla geliştirilen karar destek sistemleri (DSS) ve tür yayılım modellemeleri (SDM) önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Bu çalışmada önerilen değerlendirme çerçevesi, literatürdeki modellerle (örneğin Urban Tree Selection DSS, i-Tree Species Selector) entegre edilebilecek esneklikte yapılandırılmıştır. Bu araçlar sayesinde, belediyeler ve peyzaj planlamacıları, gelecekteki iklim projeksiyonlarına göre en uygun türleri önceden belirleyebilmekte, su bütçesi ve bakım maliyetlerini optimize edebilmektedir (Yadav ve diğerleri, 2024; Paudel & States, 2023).

Bu kapsamda, Janowiak ve diğerleri, (2021) 'Climate adaptation actions for urban forests and human health" çalışmasında kent ağaçlarının aşırı sıcaklık, hava kalitesi ve sel stresi gibi iklim değişikliği etkilerine karşı adaptasyon kapasitesini yapılandırılmış bir çerçevede ele almakta; tür seçimi ve planlama stratejilerini sistematikleştiren önemli bir rehber işlevi görmektedir. Bu yaklaşım, çalışmamızda geliştirilen stratejik tür seçimi anlayışıyla doğrudan örtüşmektedir.

Ayrıca Yadav ve diğerleri (2024) çalışması, DSS ve SDM gibi sistemlerin iklim dayanıklılığı, altyapı optimizasyonu ve ekosistem hizmeti kapasitesi gibi çok boyutlu kriterleri birlikte ele aldığını göstererek, sunduğumuz modelin yöntemsel dayanaklarını sağlamlaştırmaktadır.

3.5. Uygulamaya Dönük Kısıtlar ve Öneriler

Analizlere dayalı olarak sunulan türler, bilimsel açıdan iklim dayanıklılığı yüksek olsa da yerel yönetim kapasiteleri, fidan temin zinciri, toplumsal kabul düzeyi ve yasal mevzuat gibi faktörler uygulama sürecinde etkili olabilir. Özellikle bazı türlerin yerel halk tarafından tanınmaması ya da kültürel bağlamda uyumsuz algılanması, kullanımını sınırlayabilir. Bu nedenle yerel bilgiyle bilimsel verinin bütünleştirilmesi, halk katılımının artırılması ve eğitim çalışmalarının eş zamanlı yürütülmesi önerilmektedir. Dolayısıyla geliştirilen çok kriterli değerlendirme yaklaşımı, yalnızca teorik bir öneri olmanın ötesinde, uygulamaya geçirilebilirliği olan esnek bir tür seçim politikası sunmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu analiz, yarı kurak iklim koşullarına sahip kentlerde, iklim değişikliğinin etkilerine dirençli ve ekosistem hizmetleri açısından zengin ağaç türlerinin seçiminde bilimsel ve stratejik bir yaklaşım geliştirerek, sürdürülebilir kentsel peyzaj planlamasına katkı sunmayı amaçlamıştır. İklim projeksiyonları, tür fizyolojileri, kentsel stres faktörleri ve çok boyutlu ekosistem hizmetleri gibi kriterler birlikte değerlendirilerek, dört temel faktöre dayalı bir tür seçim çerçevesi oluşturulmuştur: iklim dayanıklılığı, ekosistem hizmeti üretimi, mikroklima uyumu ve estetik/yapısal uygunluk.

Analiz, literatürdeki genel eğilimleri destekleyerek, geçmişte yaygın olarak tercih edilen bazı türlerin artık iklim koşullarıyla örtüşmediğini; bunun yerine daha esnek, yerli veya doğala uyumlu türlerin stratejik olarak yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Öne çıkan türlerin (örneğin *Quercus ilex* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott, Celtis australis L.) kuraklık direnci, altyapıyla uyumu ve çok yönlü fayda üretimi gibi özellikleri nedeniyle yarı kurak kentler için önemli fırsatlar sunduğu belirlenmiştir.

4.1. Planlamacılar ve Yerel Yönetimler İçin Öneriler

- İklim Projeksiyonlarına Dayalı Tür Portföyü Oluşturulmalı: Tür seçimi süreci, yalnızca bugünkü değil, gelecekteki iklim senaryolarına göre şekillendirilmelidir. Özellikle RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre kuraklık toleransı yüksek türler öncelikli değerlendirilmelidir.
- Karar Destek Sistemleri ve Modelleme Araçları Kullanılmalı: DSS ve SDM gibi araçlar ile yerel koşullara uyumlu türler bilimsel veriler ışığında belirlenmeli; bu sistemlerin yerel yönetim birimlerine entegre edilmesi sağlanmalıdır.

- Yerel Türler ve Biyoçeşitlilik Önceliklendirilmeli: Monokültürden kaçınılmalı, yerli türler ve farklı işlevlere sahip bitkiler birlikte kullanılarak ekolojik denge desteklenmelidir.
- Bakım, Su Kullanımı ve Altyapı Etkileşimi Değerlendirilmeli: Türlerin büyüme alışkanlıkları, su ihtiyacı, kök sistemleri ve hastalıklara karşı toleransları dikkate alınarak bakım yükü düşük ama uzun ömürlü türler tercih edilmelidir.
- Toplum Katılımı ve Farkındalık Artırılmalı: Tür seçim süreci sadece teknik uzmanlıkla değil, halkın görüşleri ve kültürel değerleri de dikkate alınarak yürütülmelidir. Bu sayede sahiplenme ve bakım süreçleri kolaylaştırılacaktır.

4.2. Bilimsel Araştırmalar İçin Öneriler

- Saha Tabanlı Gözlemler ve Deneysel Çalışmalar Yaygınlaştırılmalı: Literatürde önerilen türlerin farklı iklim koşullarındaki performansı, stres tepkileri ve ekosistem hizmetleri açısından deneysel olarak test edilmelidir.
- Yapay Zekâ Tabanlı Tür Seçimi Modelleri Geliştirilmeli: Büyük veri kümeleri ve makine öğrenmesi ile tür öneri sistemleri daha hassas hale getirilebilir; bölgeye özel tür seçim algoritmaları oluşturulabilir.
- Kültürel Ekosistem Hizmetleri Üzerine Araştırmalar Artırılmalı: Ağaçların estetik, kimlik, aidiyet ve kültürel değerleri üzerindeki etkileri daha fazla çalışılmalı; bu bilgiler planlama süreçlerine entegre edilmelidir.

Kentsel ekosistemler, özellikle yarı kurak iklimlerde, iklim değişikliği karşısında büyük bir sınavla karşı karşıyadır. Bu bağlamda, tür seçimi yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve estetik boyutlarıyla çok disiplinli bir karar sürecidir. Bu çalışmada geliştirilen değerlendirme yaklaşımı hem planlamacılar hem akademisyenler hem de karar vericiler için uygulanabilir bir çerçeve sunmakta; gelecekteki yeşil altyapı politikalarının daha dirençli ve bilim temelli olması yönünde katkı sağlamaktadır.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Makale ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uygundur. Çalışma için Etik Kurul onayı gerekmemektedir.

Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Açıklama Bilgileri

1. Yazar %60, 2. yazar %40 katkıda bulunmuştur. Çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

Conway, T. M. & Vander Vecht, J. (2015). Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees. *Landscape and Urban Planning*, *138*, 1–10. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.007

Hirons, A. D. & Sjöman, H. (2019). *Tree species selection for green infrastructure: A guide for specifiers*. Trees and Design Action Group.

Hutt-Taylor, K., Bassett, C. G., Kinnunen, R. P., Frei, B. & Ziter, C. D. (2024). Existing evidence on the effect of urban forest management in carbon solutions and avian conservation: a systematic literature map. *Environmental Evidence*, 13(1), 23.

Janowiak, M. K., Brandt, L. A., Wolf, K. L., Brady, M., Darling, L., Lewis, A. D. & Swanston, C. W. (2021). *Climate adaptation actions for urban forests and human health*. Gen. Tech. Rep. NRS-203. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station., 203.

Jennings, V., Baptiste, A. K., Osborne Jelks, N. & Skeete, R. (2017). Urban green space and the pursuit of health equity in parts of the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(11), 1432. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph14111432

Paudel, S. & States, S. L. (2023). Urban green spaces and sustainability: Exploring the ecosystem services and disservices of grassy lawns versus floral meadows. *Urban Forestry & Urban Greening*, *84*, 127932. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127932

Pfeiffer, D. & Cloutier, S. (2016). Planning for happy neighborhoods. *Journal of the American Planning Association*, *82*(3), 1–13. DOI: https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1166347

Schutzki, R. (2005). *A guide for the selection and use of plants in the landscape*. Michigan State University Extension (E2941).

Sjöman, H., Hirons, A. D. & Bassuk, N. L. (2018). Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban Ecosystems*, 21(6), 1171-1188.

Soga, M., Gaston, K. J. & Yamaura, Y. (2017). Gardening is beneficial for health: A meta-analysis. *Preventive Medicine Reports*, *5*, 92–99. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2016.11.007

Sturiale, L. & Scuderi, A. (2019). The role of green infrastructures in urban planning for climate change adaptation. *Climate, 7*(10), 119. DOI: https://doi.org/10.3390/cli7100119

Viljoen, A. & Bohn, K. (2014). *Second nature urban agriculture: Designing productive cities*. Routledge.

Yadav, N., Rakholia, S. & Yosef, R. (2024). Decision support systems in forestry and tree-planting practices and the prioritization of ecosystem services: A review. *Land*, 13(2), 230.

Zhao, J., Davies, C., Veal, C., Xu, C., Zhang, X. & Yu, F. (2024). Review on the application of nature-based solutions in urban forest planning and sustainable management. *Forests*, 15(4), 727.

Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B. J. J. M., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M., Wahl, T. & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change, 8*(6), 469–477. DOI: https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3

Climate-Resilient Tree Species Selection in Semi-Arid Cities: Strategic Green Infrastructure Planning Under Changing Climate Conditions

Summary

Climate change, one of the most significant environmental threats of the 21st century, not only transforms natural systems but also affects urban spaces, where socio-economic life is most concentrated, in a multi-layered way. Cities located in the semi-arid climate zone are becoming increasingly vulnerable to the effects of climate change due to rising heat waves, decreasing annual rainfall, increasing evaporation rates, rising soil salinity, and growing stress on water resources. This situation emphasizes the need for a theoretical and practical transformation in classical urban planning and landscape management approaches, necessitating the application of nature-based solutions, climate-sensitive planning approaches, and multi-criteria decision support systems integrated with spatial modeling techniques at the urban scale.

The profound impact of the climate crisis on urban systems necessitates a redefinition of the concept of resilience at both theoretical and practical levels. The significant increase in environmental and structural sensitivity to climate change necessitates the restructuring of cities' resilience strategies. In this context, it is not only necessary to protect existing urban green spaces, but also to properly design new green infrastructure components and plan them in line with long-term climate projections. In semi-arid regions, the prerequisite for building sustainable green infrastructure despite water scarcity and heat stress is the comprehensive evaluation of plant species to be selected, which is as important as site selection, based on urban ecology, climate scenarios, and user expectations. In this context, urban afforestation policies must be redesigned based on ecological, infrastructural, and social functionality, rather than solely on aesthetic criteria or short-term performance criteria.

Within the framework of efforts to increase the adaptability of cities, the selection of tree species, which are a fundamental component of climate-resilient green infrastructure, requires a multidisciplinary evaluation process. The selection of climate-resilient tree species requires interdisciplinary collaboration not only from the perspectives of landscape architecture or urban planning but also from disciplines such as climate science, ecology, environmental psychology, and urban sociology. Knowledge-based decision-making processes should now replace intuitive or habit-based species selection practices; advanced modeling techniques, satellite data, long-term meteorological observations, and local ecological feedback should be integrated into these processes. In this context, multi-criteria assessment models that take into account both current conditions and possible future scenarios form the basis for more flexible, adaptable, and sustainable decision-making mechanisms. Tree species should be evaluated within an ecosystem framework, considering not only their individual characteristics but also their spatial distribution within the city, biotic interactions, and social perceptions. Such holistic approaches contribute to the development of long-term resilience strategies without exceeding the ecological carrying capacity of cities.

Considering the changing role of green infrastructure approaches, urban systems should be viewed not only as traditional landscape designs but also as integrated planning components that generate multi-layered benefits such as climate adaptation, optimization of ecosystem services, public health, thermal comfort, disaster risk reduction, and social equity. Tree planting, one of the most dynamic elements of the urban green fabric, is a strategic tool for both adapting to climate change and mitigating its effects. However, to effectively harness this potential, the species selection process must be conducted within a scientific, systematic, and holistic evaluation framework that considers not only aesthetic and short-term performance criteria but also climatic, ecological, infrastructural, and socio-cultural interactions at multiple scales.

This study aims to develop a multi-criteria evaluation model for determining tree species that are compatible with climate change in cities located in the semi-arid climate zone. The methodological

framework used in the study includes literature review, climate projections (particularly RCP 4.5 and 8.5 scenarios), spatial analyses, decision support systems (DSS), species distribution modeling (SDM), and ecosystem services-focused databases. Within this framework, species selection is structured around four main axes: (1) Climate resilience, (2) Ecosystem service production capacity, (3) Compatibility with urban infrastructure and microclimate, (4) Aesthetic and cultural acceptance level.

The climate resilience dimension is related to species' long-term survival capacity under climate projections, physiological adaptation abilities, and tolerance levels to multiple stress factors (e.g., temperature, drought, salinity, pollution, radiation). For example, Quercus ilex L. is resistant to prolonged drought conditions due to its deep root system and xeromorphic leaf structure. Albizia julibrissin Durazz. is notable for its ability to maintain photosynthetic activity even in regions with high temperature thresholds. In this context, the past performance records, herbarium data, biotic/abiotic stress tolerance profiles, and phenological behaviors of the species used were analyzed comparatively.

The ecosystem service potential, which forms the second axis of the evaluation model, is not limited to environmental benefits but also encompasses social, economic, and psychological dimensions. The multifunctional contributions provided by urban trees necessitate their evaluation not only based on biophysical parameters but also on user-focused benefit criteria. Especially in semi-arid cities where temperature stress is increasing, species that provide shade and coolness through evapotranspiration directly affect both outdoor comfort and energy consumption. Similarly, services such as carbon sequestration, air pollutant retention, noise reduction, and aesthetic landscape contributions necessitate a comprehensive evaluation system to measure the benefits provided by species. Therefore, the value each tree contributes to the urban ecosystem must be analyzed not only based on its individual characteristics but also on its multi-layered service production capacity.

Ecosystem service production capacity is related to services provided by species such as shading, carbon sequestration, air quality improvement, soil stabilization, water cycle management, pollinator support, contribution to urban biodiversity, and food production. Tilia tomentosa Moench. plays an effective role in reducing the urban heat island effect thanks to its wide crown structure; Celtis australis L. increases rainwater infiltration with its permeable root structure; and Sophora japonica L. supports bee and insect fauna with its long flowering period. Each species stands out in a different service profile, and evaluating these services together enhances the functional richness of urban green infrastructure.

The microclimatic and infrastructure compatibility dimension was evaluated based on the physical growth forms of species, root spread potential, pruning requirements, amount of fallen leaves, allergen production, and potential damage to urban infrastructure (sidewalks, pipelines, parking lots). Platanus orientalis L., despite its high evapotranspiration capacity, can damage infrastructure elements due to its shallow root system. It is recommended to prefer species such as Koelreuteria paniculata, which exhibit more controlled root development and have low maintenance requirements. Therefore, adopting an integrated planning approach between infrastructure and vegetation is inevitable.

The aesthetic and cultural compatibility criterion relates to the seasonal visual effects of species, their recognition among the public, their connection to the local landscape identity, and user satisfaction. Acer campestre creates seasonal awareness in urban areas with its autumn coloration, while Gleditsia triacanthos supports urban aesthetics with its elegant crown structure and permeable shade. The use of native and traditional species is emphasized as important not only for ecological but also for cultural sustainability.

For the species selection process to be successful, durability and adaptability should be prioritized as much as functionality and diversity. Especially, the co-planning of species that play complementary ecological roles has strategic value for the sustainability of urban ecosystems. Therefore, not only the individual performance of species but also the interaction network they create at the system level should be taken into account. Thus, the planned green infrastructure elements provide short-term environmental services and also serve as an ecological backbone that increases the resilience of cities in the long term. This approach reduces vulnerability to climate change while also bringing about a resilient structure that supports the multi-layered functionality of the landscape.

Furthermore, increasing species diversity is not only an ecological necessity but also serves as insurance, strengthening the system's flexibility capacity. Evaluating species with genetic and morphological diversity together ensures that if one species fails under potential climate scenarios, other species can continue to perform their functions. Thus, the system's overall service production capacity is preserved. Therefore, the “functional species mosaics” approach is not merely a theoretical suggestion; it is a concrete planning tool for climate adaptation. This approach enhances the effectiveness of green infrastructure investments by enabling species to respond simultaneously to different stress factors, particularly in semi-arid cities.

In line with these assessments, multi-criteria species selection models that address the ecological, social, and economic dynamics of cities go beyond traditional planning approaches and pave the way for a new ecosystem-based management approach. This approach offers a comprehensive framework that is not limited to engineering solutions alone; it is compatible with nature, takes into account the expectations of the local population, and aims to improve the quality of urban life. In this regard, the proposed species selection model is not merely an analytical tool; it also serves as a guiding framework for the construction of climate-adapted, functional, and aesthetically balanced landscapes.

The analysis results show that traditional species selection practices (e.g., fast growth, low cost, appearance-focused individual preferences) are insufficient in responding to the multidimensional effects of climate change. Monoculture afforestation is highly vulnerable to biotic threats (pests, diseases) and climate stress. These findings clearly highlight the importance of diversity-based planning approaches. Species must play complementary roles not only at the individual level but also at the system level, forming the cornerstone of sustainable urban ecosystems.

Therefore, species selection must be designed to include not only biophysical but also social, cultural, and infrastructural dimensions. In future urban planning, species selection should be approached holistically, considering not only biophysical suitability but also socio-cultural acceptance, infrastructural integration, and ecosystem service potential. Diversifying species portfolios according to climate scenarios, increasing local community participation, and expanding decision support systems are critical for building sustainable and resilient urban landscapes.

As a general assessment, this study highlights that urban afforestation policies cannot be evaluated solely based on landscape aesthetics or superficial environmental contributions; rather, they must be re-examined within a multi-layered framework that includes ecological resilience, adaptation to climate change, infrastructure integration, and socio-cultural sustainability. The multifaceted environmental threats faced by cities located in semi-arid climate zones necessitate that species selection processes be managed not through intuitive or habitual methods, but through a data-driven, multidisciplinary, and systematic approach.

The Multi-Criteria Species Evaluation Model developed in this context is not merely a tool guiding plant material selection but also a comprehensive management tool that forms the foundation for planning climate-resilient, multifunctional, and inclusive urban green infrastructure systems. The model integrates a wide range of inputs, including climate projections, spatial datasets, biophysical characteristics, and ecosystem service potentials, while also incorporating parameters that are often overlooked, such as socio-cultural acceptance levels and infrastructure compatibility. This enables the production of decisions that are consistent with the local context and application-oriented.

The approach presented in this framework indicates that the urban landscape should be conceived not as a static aesthetic object but as a living system capable of adapting to constantly changing climatic, ecological, and social dynamics. The proposed model evaluates species diversity not only in terms of biological richness but also in terms of its capacity to maintain system flexibility and functional continuity, thereby clearly highlighting the risks of monocultural afforestation practices.

Furthermore, the functional species mosaic approach envisioned by the model ensures that urban ecosystem services achieve a more balanced, sustainable, and inclusive structure through the co-planning of species that are resistant to different stress factors, perform complementary functions, and possess genetic/morphological diversity. This strategy is critical not only from an environmental

perspective but also in terms of social justice and public benefit production. In this regard, the study offers concrete contributions not only in the context of species selection but also in enhancing cities' climate adaptation capacity, promoting planning systems supported by nature-based solutions, and constructing resilient urban structures.

In conclusion, the Multi-Criteria Species Evaluation Model developed in this study serves as an interdisciplinary platform that brings together climate science, urban ecology, landscape architecture, and social sciences, enabling the implementation of resilient, nature-compatible, and community-based landscape strategies for the cities of the future. Thus, the proposed model is not merely an analytical tool; it is also regarded as a carrier of a holistic vision and a transformative component of rethinking urban environments.

Authors are responsible for the copyright of figures, pictures, and images in the articles, the content of the articles, the accuracy of the references and citations, and the suggested ideas and others.