

## I-TREE PROGRAMI ARACILIĞIYLA YEŞİL ALANLARIN SAĞLADIĞI EKONOMİK DEĞERİN SAPTANMASI

Sümevra ELMA<sup>1\*</sup>, Veli ORTAÇEŞME<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Antalya

<sup>2</sup> Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Antalya

### Öz

Kentleşmeyle birlikte kentsel nüfus yoğunluğu da artmakta, bu da kentsel mekanlar üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Kentlerde yaşam kalitesi bağlamında yeşil alanların önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu alanlar kente ve kent insanı birçok yarar sağlamakta olup, Covid-19 sürecinde açık ve yeşil alanların değeri daha fazla anlaşılmıştır. Çoğu durumda bu yararlar nitel olarak ifade edilirken, son yıllarda yeşil alanların sağladığı yararların nicel ifadesi de ön plana çıkmaktadır. Yeşil alanların bir ekonomik yarar da sağladığının kamuoyu tarafından bilinmesi ve bu yararın parasal olarak ifadesi, bu alanlara yönelik bakış açılarında yeni fırsatlar sunmaktadır. Yeşil alanların sağladığı ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerinin hesaplanması konusunda pek çok yöntem ve program geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) Orman Servisi tarafından geliştirilen ve ABD’de yaygın olarak kullanılan i-Tree programı ele alınmaktadır. I-Tree, kentsel ve kırsal orman analizi ve yarar değerlendirme araçları sağlayan son teknoloji ürünü bir yazılım paketidir. Bu çalışmada, i-Tree programı kullanılarak yapılan çalışmalardan örnekler verilmekte ve hem uluslararası hem de ulusal çalışmalarda i-Tree programının yaygın araçları anlatılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** i-Tree araçları, kent parkı, kent ormanı, ekosistem hizmetleri, ekonomik değer hesabı

\*Sorumlu Yazar *Corresponding Author* | Sümevra ELMA, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı ABD, Antalya, E-mail: [sumeyraelma@gmail.com](mailto:sumeyraelma@gmail.com) ORCID: 0000-0003-1230-280X / Veli ORTAÇEŞME, Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, E-mail: [veliortacesme@gmail.com](mailto:veliortacesme@gmail.com) ORCID: 0000-0003-1832-425X

Geliş Received 05.06.2024 | Kabul Accepted 19.06.2024 | Basım Published 30.06.2024

ISSN 2687-2358 | DERLEME/ (Review) DOI: 10.53784/peyzaj.1496082



### ESTIMATING THE ECONOMIC VALUE OF GREEN SPACES THROUGH I-TREE PROGRAM

#### Abstract

With urbanization, urban population density increases leading to the pressure on urban spaces. Green areas have an important place in the context of quality of life in cities. These areas provide many benefits to the city and its people, and the value of open and green spaces has been understood more during the Covid-19 period. While in most cases these benefits are expressed qualitatively, in recent years the quantitative expression of the benefits provided by green areas has also come to the forefront. The public knowledge that green areas also provide economic benefits and the monetary expression of this benefit offer new opportunities in the outlook towards these areas. Many methods and programs have been developed to estimate the economic value of ecosystem services provided by green areas. In this study, the i-Tree program, developed by the United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service and widely used in the USA, is discussed. I-Tree is a state-of-the-art software package that provides urban and rural forest analysis and benefit assessment tools. In this article, examples of studies using the i-Tree program are given and common tools of the i-Tree program in both international and national studies are described.

**Keywords:** i-Tree tools, urban park, urban forest, ecosystem services, economic value estimation

### 1.Giriş

Dünya nüfusunun % 55'i, ortalama % 26.5 ağaç örtüsüne sahip kentsel alanlarda yaşamakta olup, ağaçlar çoğu şehirde önemli peyzaj unsurlarıdır. Küresel olarak, ağaç örtüsü ormanlık bölgelerde yaklaşık % 31, otlak bölgelerde % 19 ve çöl bölgelerinde % 13 civarındadır. Kent peyzajlarının değişen derecelerde önemli bir bileşeni oldukları için, ağaçlar kent sakinlerinin sağlığını ve refahını etkileyecek önemli unsurlardır ve pek çok yarar yanında ekosistem hizmeti de sağlamaktadır (Nowak, 2020).

2050 yılına kadar yaklaşık 10 kişiden 7'sinin kentlerde yaşayacağı düşünülmektedir. 2030 yılına kadar dünyaya 1.2 milyon km<sup>2</sup> yeni kentsel yerleşim alanı eklenmesi beklenmektedir. Bu yayılma, arazi ve doğal kaynaklar üzerinde baskı oluşturarak istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır. Kentler küresel enerji tüketiminin üçte ikisini temsil etmekte ve sera gazı emisyonlarının % 70'inden fazlasını oluşturmaktadır (World Bank, 2023). Kentsel alanlardaki nüfus artışıyla yoğun yapılaşma sonucu kentsel yüzeylerdeki ısı artışı, kentsel ısı adalarını ortaya çıkarmaktadır. Kentsel ısı adasının etkileri kentlerde iklim dengesini bozarak, sıcaklık artışları, yağışların azalması, kuraklık, su krizi, sıcak hava dalgaları gibi durumlar oluşmaktadır (Yüksel ve Yılmaz, 2008; Üstündağ vd. 2023). İklim değişikliği senaryoları, değişen aşırı hava olayları, deniz seviyesindeki yükselişler, kentsel bölgelerde aşırı yağış ve sıcaklıklar şeklinde öngörülebilmesinin (Ortaçesme ve Zeğerek Altunbey, 2022) yanında ormansızlaşma, kuraklık, gece gündüz sıcaklık farklılıklarından dolayı çölleşme gibi olası etkilere de sahiptir.

Yeşil alanlar ve kent ormanları mikro iklimsel etki oluşturarak özellikle yaz aylarında sıcaklıkları düşürebilmektedir. Böylece kentte yaşayan canlılar

açısından termal konfor sağlamaktadır (Feyisa vd., 2014; Elma, 2020).

Yeşil alanlar kent içinde rüzgâr yönü dikkate alınarak konumlandırıldığında, sadece kendi içinde değil, çevresinde de havayı serinletme ve filtreleme etkisi oluşturur. Hem bunaltıcı hem de kirli havayı ortadan kaldırarak ve hava dolaşımını sağlayarak, biyoiklimsel konfora katkıda bulunmaktadır. Elma (2020)'nin Antalya'da bir kent parkında yaptığı çalışmasında en sıcak ay olan Ağustos ayında parkın çevresine göre 3.6° C daha serin olduğu ve bu serinletme etkisinin parktan 100 m mesafeye kadar devam ettiği saptanmıştır.

İnsanlar için zengin ekosistem hizmetleri sağlayan (Schulze, 2000; Liang vd., 2016) ve karasal biyolojik çeşitliliğin büyük kısmını destekleyen (Balvanera vd., 2006) ağaçların dünya çapında yaklaşık 73.000 türünün bulunduğu belirlenmiştir (Cazolla Gatti vd., 2022). Ağaç çeşitliliği arttıkça bu işlev ve hizmetlerin birçoğunun büyüklüğü de artmakta ve ağaç topluluklarının daha fazla işlevsel çeşitliliği, ekosistem üretkenliğini ve istikrarını artırmaktadır (Barrufol vd., 2013; Liu vd., 2018, Guo vd., 2022). Tür çeşitliliğinin olduğu kentsel yeşil alanlar ve kent ormanlarının iklim değişikliğine adaptasyonu daha kolay olabilmektedir (Hill ve Baker, 2021).

Ekosistem hizmetleri, ekosistem işlevlerinin topluma sağladığı yararlardır (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Bunlar doğrudan veya dolaylı yoldan oluşturulan mal, ürün ve hizmetler olabilmektedir.

Kentsel yeşil alanların ve kent ormanlarının önemli ekosistem hizmetleri, gıda temini (kentsel parsellerde ve kent çevresindeki alanlarda üretilen sebzeler), yüzey akışını hafifletme (toprak ve bitki örtüsünün ağır ve / veya uzun süreli yağış sırasında suyu süzmesi), kent ısını düzenleme (ağaçlar ve

diğer kentsel bitki örtüsünün, gölgeleme, nem ve rüzgar bloğu oluşturması), gürültüyü azaltma (bitki örtüsü bariyerleriyle ses dalgalarının emilimi), havayı temizleme (kentsel bitki örtüsünün kökleri ve yaprakları ile kirleticileri bağlama ve yok etme), çevresel aşırılıkları iyileştirme (bitki örtüsü bariyerleriyle fırtına, sel, ve dalga tamponlama; şiddetli ısı dalgaları sırasında ısı emilimi), arıtma, iklim düzenleme (kentsel çalı ve ağaçların biyokütlesi tarafından karbon tutması ve depolaması), tozlaşma ve tohum dağılımı (kentsel ekosistem kuşlar, böcekler, ve polen taşıyıcılar için yaşam alanı sağlar), rekreasyonel ve zihinsel gelişme (kent parkları kültür, sanat ve tasarım için ilham ve rekreasyon fırsatları, meditasyon, ve pedagoji için birden fazla fırsat sağlar), hayvanları izleme (kentsel yeşil alanlar insanların izlemekten hoşlandıkları kuşlar ve diğer hayvanlar için yaşam alanı oluştururlar) olmak üzere bir dizi önemli potansiyel yarara sahiptir ve kentleşmenin çevre ve insan sağlığı üzerindeki bazı zararlı etkilerinin hafifletilmesine yardımcı olmaktadır (Baggethun ve Barton, 2013; Tülek ve Mirici, 2019; Salmond vd., 2016; Livesley vd., 2016 ; Nyelele vd., 2022; Davies vd., 2017; O'Brien vd., 2017).

Kentsel yeşil alanların ve kent ormanlarının en iyi nasıl yönetileceğini anlamak ve sağladıkları sayısız yararların potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için politikacılar, yöneticiler ve halk tarafından bu alanların sağladığı yararların somut biçimde anlaşılmasına ihtiyaç vardır (Moffat, 2016; Raum vd., 2019). Yeşil alan ya da kent ormanlarının topluma sağladığı yararların ekonomik değerinin hesaplanması, bu alanların sağladığı yararların somut olarak ortaya konmasına olanak tanır.

Kent yöneticileri genellikle kaç insan, araba, bina, elektrik direği vb. olduğunu bilirler, ancak bitki örtüsü kaynakları hakkında sınırlı bilgiye sahiptirler ya da hiç bilgiye sahip değildirler. Yeşil örtü yerel ölçekte milyonlarca dolarlık yarar sağladığından, bu

kaynağın daha iyi anlaşılması için yatırım yapılması son derece önemlidir. Bu kaynağı anlamının ilk adımı, mevcut kaynağın ve değerlerinin envanterini çıkarmaktır. Temel stok veya envanter, bilgi, mevcut ve gelecek nesiller için orman değerlerini optimize etmek üzere daha iyi yönetim ve planlar geliştirmek için gereklidir (Nowak, 2020).

Kentsel yeşil dokunun parasal değerinin hesaplanması amacıyla çeşitli yöntemler ve yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan biri ülkemizde Tuğluer (2019) tarafından geliştirilen KARBİYOSİS (Karbon Depolama ve Biyokütke Hesaplama Sistemi) isimli ağaç yapraklarında tutulan karbon miktarını hesaplayan yazılımdır. Bu yazılımlardan bir diğeri de Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığına bağlı Orman Servisi tarafından geliştirilen i-Tree yazılımıdır. i-Tree yazılımı kullanıcıların kendi verilerini programa girerek pek çok ülkede programı kullanabilmesine olanak sağlamaktadır. Ülkemizden bir kullanıcının i-Tree programı ve i-Tree araçları hakkında Türkçe kaynakta çok daha hızlı ve rahat bilgi edinebilmesi ve çalışması için uygun aracı belirleyebilmesi amacıyla i-Tree programı, araçları ve bu araçların kullanıldığı bazı çalışmalar bu çalışmada irdelenmiştir.

Andrew ve Slater (2014) Birleşik Krallık'ta ağaçların sunduğu ekosistem hizmetlerini araştırmışlardır. i-Tree Eco yazılımının kullanıldığı çalışmada, özel konut bahçelerinde ve halka açık alanlarda yer alan ağaçların sunduğu mevcut ekosistem hizmetleri ölçülmüştür. Biri, ağaçların sonraki 10 yıl boyunca sınırsız büyüdüğü diğeri ise, ön bahçedeki ağaçların boyut olarak sınırlandırıldığı iki durum düşünülerek ağaçların kirleticileri yok etme oranları hesaplanmıştır. Ön bahçe ağaçlarındaki boyut küçültmenin ağaç popülasyonundan elde edilen yararlar da önemli düşüşe neden olduğu saptanmıştır. 10 yıl süresince serbest olarak büyümeye bırakılan ağaçların, mevcut

durumda ağaçlar tarafından uzaklaştırılan kirleticilerin yıllık % 149'unu ortadan kaldırdığını belirlenmiştir. 10 yıl boyunca taç büyümesi kısıtlanan ağaçların mevcut durumda ağaçlar tarafından uzaklaştırılan kirleticilerin sadece % 88'ini ortadan kaldırdığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, konut sahiplerinin bahçelerindeki ağaçların boyutuna müdahale etmelerinin kent ölçeğinde neden olacağı potansiyel ekonomik kaybı ortaya koymuştur.

Hepcan ve Hepcan (2017) Ege Üniversitesi lojmanlar bölgesinde taç örtüsüne bağlı olarak sağlanan hava kalitesi değerini hesaplamıştır. Bu amaçla taç örtüsünce hava kirliliğine neden olan gazların atmosferden uzaklaştırılmasına yönelik analizlerinin yapılmasına olanak sağlayan i-Tree Canopy aracı kullanılmıştır. Araştırma alanının sınırları WorldView2 uydu görüntüsü kullanılarak belirlenmiş ve i-Tree Canopy aracında kullanılacak sayısal veri formatına dönüştürülmüştür. Araştırmada i-Tree Canopy modeli kullanılarak, araştırma alanını tanımlayan sayısal veri 2015 tarihli Google Earth uydu görüntüsü üzerinde üç bin adet rastgele nokta seçilmiştir. Bu noktaların temsil ettiği arazi örtüsü (1) ağaç ve çalı (ağac ve çalı vejetasyonları), (2) çim (çim alan), (3) geçirimsiz yapı (bina ve yapılar, asfalt ve beton ve kilit parke taşı kaplı yol, sıkıştırılmış yol), (4) açık alan (üzerinde bitki örtüsü bulunmayan toprak yüzey) ve (5) yüzey örtücü bitki (otsu bitki vejetasyonu ile kaplı alanlar) olmak üzere beş sınıf altında gruplandırılmıştır. Nokta seçiminin tamamlanmasından sonra model çalıştırılmış, lojmanlar yerleşkesindeki taç örtüsünün hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem servisleri kapsamında sağladığı yararlar hesaplanmıştır. Sonuçlar % 48'i taç örtüsüyle kaplı olan lojmanlar yerleşkesinin bir yılda 321.57 ton CO<sub>2</sub> yakaladığı ve 8107.86 ton CO<sub>2</sub> depoladığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra bitki taç örtüsünce bir

yılda atmosferden 28.70 kg Karbon monoksit (CO), 143.85 kg Nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), 1.58 ton Ozon (O<sub>3</sub>), 90.6 kg Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), 69.61 kg PM<sub>2.5</sub> ve 479.90 kg PM<sub>10</sub> parçacık madde uzaklaştırıldığı hesaplanmıştır. Lojmanlar yerleşkesinden sağlanan tüm bu hizmetlerin yıllık ekonomik değeri 112.481 ABD Doları olarak hesaplanmıştır.

Tuğluer ve Gül (2018) UFORE modeli (Kent Ormanı Etkileri Modeli) i-Tree Eco uluslararası sürümünün Isparta kenti Süleyman Demirel Bulvarı'ndaki ağaç envanter verileri kullanılarak test edilmesi amacıyla bir çalışma yapmıştır. Arazi çalışmaları ile elde edilen envanter verileri kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi ve i-Tree Eco ortamında sonuçlar elde edilmiştir. Türkiye'de ilk defa uygulanan UFORE yönteminin bazı sınırlamalarına rağmen uygulanabileceği ve kent ağaçlarının ekosistem hizmetlerinin belirlenmesinde özellikle yerel ağaç envanterinin detaylı olarak yapılmasının da önemli olduğu ortaya konulmuştur.

Raum vd. (2019) i-Tree Eco yazılımının Britanya'da kullanımını değerlendirmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışma, bu yazılımdan elde edilen verilerin kent ormanlarının yararları konusunda farkındalığı artırmaya yardımcı olduğunu ortaya koymuştur. i-Tree Eco bulguları politika ve planların geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kent ormanlarının yönetiminin iyileştirilmesinde ve ağaç politikaları ile ilgili değişikliklerde kullanımının daha sınırlı olduğu görülmüştür. i-Tree Eco sonuçlarının çevresel karar alma süreçlerinde daha etkili olabilmesi için sekiz faktör belirlenmiştir.

**1. Problemi netleştirme:** Net bir amaç oluşturmak ve potansiyel kullanıcılarla yönetim, politika ve kapasitede istenen değişikliklerle ilgili ortak bir vizyon oluşturmak için net bir amaç/problem belirlemek.

**2. Yönetim:** i-tree ile ilgili projeleri yönetirken i-Tree kullanıcılarının, proje gönüllülerinin ve bilgi sağlayan araçların hem proje hem proje dışındaki rol ve sorumluluklarını anlamak.

**3. Girdiler:** Etki yaratmanın zaman aldığını ve çıktılarının hemen teslim edilmesinin ötesinde eylemler gerektirebileceğini kabul ederek analiz, raporlama, katılım ve yaygınlaştırma için gereken kaynaklar konusunda gerçekçi olmak.

**4. Çıktılar:** Çıktıların içeriğinin kullanıcı ihtiyaçlarını, örneğin mevcut politika gündemlerini karşılamasını sağlamak.

**5. Etkileşim:** Değerlendirmenin birlikte geliştirilmesi, üretilmesi ve çıktıların yaygınlaştırılması gibi süreçlere paydaş katılımını en başından itibaren sağlamak.

**6. Yaygınlaştırma:** Proje çıktılarının formatını ilgili her bir kitleye hitap edecek biçimde uyarlamak ve ulaştırmak.

**7. Kullanıcılar:** Proje ve belirli bulguların tanıtımını, gayri resmi veya resmi kullanıcı grupları aracılığıyla yeni potansiyel kullanıcı topluluklarına ulaştırmak.

**8. Bağlam:** Yeniden yapılanmalar, kamu sektörü bütçe kesintileri, personel değişimi ve önceliklerdeki değişiklikler gibi beklenmedik faktörlere hazırlıklı olmak ve bunlara proaktif olarak yanıt vermek.

Wu vd. (2019) Çin'de kentsel bitki örtüsünün hava kalitesinin iyileştirilmesine etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada bitki örtüsüne ilişkin bir zamansal-mekansal çökme modeli i-Tree Eco yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar kentsel bitki örtüsünün partikül madde (PM<sub>2.5</sub>) azaltımının 1000 tonu aştığını ve bitki örtüsü ile ortamdaki uzaklaştırma miktarının yılda m<sup>2</sup> başına 1.6 g olduğunu göstermiştir. Saatlik maksimum hava

kalitesini iyileştirmede bitki yüksekliklerinin önemli bir etken olduğu ve yüksekliğe bağlı olarak da iyileştirmenin % 1 ile % 3 arasında farklılık gösterebildiği görülmüştür. Vegetasyon tipi açısından, 0-100 m yükseltilerdeki herdemyeşil çalıların, 100-300 m'deki herdemyeşil geniş yapraklı ormanların ve 300 m'den fazla yükseltilerdeki herdemyeşil iğne yapraklıların en yüksek partikül madde tutma verimliliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca PM 2.5'in tutulma miktarının yaprak yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Alvarado (2019) yaptığı çalışmada ekosistem hizmetleri değerlendirme araçlarını araştırmıştır. Bu araçların kullanıcı gereksinimleri, nicel değerlendirme ve farklı kentsel peyzaj alanlarında ekosistem hizmetlerini hesaplamada uygunlukları karşılaştırmış, değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. i-Tree Eco yazılımı 6 araç arasında en iyi performans gösteren araç olarak değerlendirilmiş ve ardından bir kentsel vaka çalışması olarak Amsterdam'daki Park Frankendael adlı büyük bir parka uygulanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre parkın yıllık olarak 664.4 kg hava kirliliğini giderdiği; 27.58 metrik ton karbon tuttuğu ve 2307 m<sup>3</sup> yağmur suyu depoladığı ve bunların maliyetlerinin sırasıyla yıllık 32.600 Avro, 5.560 Avro ve 21.800 Avro olduğu belirlenmiştir.

Nyelele vd. (2022) tarafından ABD'nin New York kenti Bronx bölgesinde yapılan çalışmada, hava kalitesi ve yüzeysel akışın önlenmesiyle ilgili parasal yararları göz önünde bulunduran dört senaryo için öncelikli ağaç dikim konumlarını belirleme açısından i-Tree Landscape'i ve Nyelele ve Kroll'un (2021) geliştirdiği mekansal optimizasyon karar destek aracını kullanmışlardır. Bu iki yöntemi ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma Amerika Birleşik Devletleri'nde nüfus sayımı demografik verilerinin kolayca bulunabildiği bir ölçek olan nüfus sayımı blok grubu düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Senaryo 1'de PM<sub>2.5</sub> hava kirletici giderim yararlarına



öncelik verilirken, Senaryo 2’de önlenecek yüzey akışının yararlarına öncelik verilmiştir. Senaryo 3’de hava kirlenici giderimi ve önlenecek yüzey akışının yararları aynı anda maksimize edilmiş ve Senaryo 4’de eşitlik hedeflerini karşılamak (yoksul veya zengin her kesimden insana ekosistem hizmetlerinin yararlarının eşit biçimde sağlanması) için hava kirlenici gideriminin yararları maksimize edilmiştir. Tek bir ekosistem hizmeti yararlarını maksimize eden Senaryo 1 ve 2’de i-Tree Landscape ile karar destek çerçevesi benzer optimal çözümler oluşturmuştur. Bununla birlikte, birden fazla hedef göz önünde bulundurulduğunda (Senaryo 3) veya eşitlik dahil edildiğinde (Senaryo 4), karar destek çerçevesinde ağaç örtüsü için belirlenen blok gruplarının sayısı, i-Tree Landscape’teki önceliklendirme şeması kullanılarak elde edilenlerden daha fazla olduğu görülmüştür. i-Tree Landscape, kaynakları daha az sayıda ve daha büyük blok gruplarına yönlendirirken, karar destek çerçevesi sınırlı ağaç örtüsüne sahip ve daha fazla insanın yaşadığı daha küçük blok gruplarında ağaç örtüsünün artırılmasını önermiştir. Mekansal optimizasyon karar destek çerçevesi ile i-Tree Landscape karşılaştırıldığında ise i-Tree Landscape çok çeşitli sosyal, demografik, ekonomik ve çevresel göstergeleri kapsayan önceden yüklenmiş haritaları kullandığından, kapsamlı alan bilgisi olmadan karar vericiler tarafından kolayca uygulanabilme avantajına sahip olduğu belirlenmiştir. Karar destek çerçevesinde ise istenen haritaların, verilerin dahil edilme imkanının olduğu, ancak i-Tree Landscape’te kullanılan girdi verilerinde de sınırlamalarının olduğu ve UTC verilerinin mevcut olmadığı kentler için i-Tree Landscape’in daha kaba olan ve ağaç gölgelik örtüsünü olduğundan düşük tahmin ettiği gösterilen NLCD verilerini kullandığı belirlenmiştir. Örneğin; karar destek çerçevesi hem ekilebilir geçirgen hem de dikilebilir geçirimsiz alanlardaki ağaç örtüsü artışlarını değerlendirebilirken, i-Tree Landscape yalnızca çıplak toprak veya kısa bitki

örtüsü olan alanlarda ağaç örtüsü genişlemesini dikkate almıştır. Karar vericilerin i-Tree Landscape’in belirlediği yaklaşımın ve uygulama maliyetinin bariz düşük olması nedeniyle tercih edilebileceği ancak tipik olarak çıplak toprak veya kısa bitki örtüsüne sahip alanları ağaç örtüsüne dönüştürecek olsa da, ekilebilir geçirimsiz alanların kentsel yeşillendirme planlarına dahil edilmesiyle daha fazla yarar elde edilebileceği çalışmanın sonuçları arasındadır.

## 2. Amaç ve Kapsam

Araştırmanın ana materyalini i-Tree yazılım araçları kullanılarak kentsel yeşil alan veya kent ormanının sağladığı yararların ekonomik değerinin hesaplandığı araştırma, makale, tez, bildiri gibi yazılı kaynaklar oluşturmaktadır.

Çalışma yönteminin ilk aşamasında i-Tree yazılım programı, çalışma temeli ve araçları hakkında bilgiler toplanmış, ikinci aşamada ise bu programın kullanıldığı 2014 ve sonrasında yapılan uluslararası ve ulusal çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise programın uluslararası ve ulusal çalışmalarda en çok tercih edilen araçları belirlenmiş ve tercih edilme sebebi açıklanmıştır.

## 3. i-Tree programının genel özellikleri

i-Tree programı, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) Orman Hizmetleri ve İşbirliği yaptığı kuruluşlar (Davey Ağaç Uzmanlık Şirketi, Ağaç Günü Vakfı, Belediye Ağaç Uzmanları Derneği, Uluslararası Ağaç Yetiştirme Derneği, Casey Ağaç) tarafından geliştirilen kentsel ve kırsal ormancılık analizi ve yarar değerlendirme araçları sağlayan bir yazılım paketidir. Tek bir ağaçtan olabildiği gibi parsel-mahalle –eyalet kadar tüm ölçeklerde tek bir ağaç veya ağaç topluluklarının sağladığı somut ekosistem hizmetlerini belirlemede ve parasal değerinin ölçülmesinde, kentsel orman yapısının ve değerlerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

EKOSİSTEM ETKİLERİ	ÖZELLİK	ÖLÇÜM	PARASAL DEĞERİ
ATMOSFER	Hava Sıcaklığı	●	○
	Önlenen emisyonlar	●	●
	Bina enerji kullanımı	●	●
	Karbon tutma	●	●
	Karbon depolama	●	●
	İnsan konforu	○	●
	Polen	○	
	Kirliliğin giderilmesi	●	
	Transpirasyon	●	●
	Ultraviyole radyasyon	●	
	Uçucu organik bileşik emisyonları	●	○
TOPLULUK/SOSYAL	Estetik/mülkiyet değeri	○	
	Gıda/tıp	○	○
	Sağlık endeksi	○	
	Orman ürünleri	○	○
	Yetersiz hizmet alan bölgeler	●	
KARASAL	Biyçeşitlilik	○	
	İstilacı bitkiler	●	
	Besin döngüsü	○	
	Yaban hayatı yaşam alanı	●	
SU	Önlenen yüzey akışı	●	●
	Sel baskını	○	○
	Yağış durdurma	●	
	Akarsu sıcaklığı	●	
	Su kalitesi	●	●

- = i-Tree'de şu anda tanımlanan veya değer biçilen nitelik  
○ = i-Tree'de geliştirilmekte olan özellik

**Şekil 1.** Ağaçların sağladığı ekosistem hizmetlerinin i-Tree'de ölçülen ve geliştirilmekte olan yararları ve maliyetleri (Nowak, 2020).

Ağustos 2006'da piyasaya uygulamaya konulan i-Tree araçları, orman yapısını ve ağaçların sağladığı

çevresel yararları ölçerek orman yönetimi ve korunması konusunda yardımcı olabilmektedir (USDA Forest Service, 2006).

i-Tree'nin kökleri daha önceki yıllarda geliştirilen Kent Ormanı Etkileri (UFORE - The Urban Forest Effects), Kent Ormanı Yöneticileri için Cadde Ağaçları Kaynak Analizi Aracı (STRATUM - The Street Tree Resource Analysis Tools for Urban Forest Managers) ve Hareketli Toplum Ağaç Envanteri (MCTI - Mobile Community Tree Inventory)'ne kadar uzanmaktadır (i-Tree, 2024 a).

i-Tree kullanıcıları, ağaçların sağladığı yerel ekosistem hizmetlerini, orman yönetimi faaliyetlerini çevresel kalite ve toplum yaşanabilirliği ile ilişkilendirebilir. İster tek bir ağaç ister ormanın tamamı olsun, i-Tree sağlanan yararın değerini ortaya koymak ve bu alanlarda ekosistem adına daha etkili kararlar almak için öncelikleri belirlemek amacıyla kullanılabilir veriler sağlamaktadır (USDA Forest Service, 2006).

### 3.1. i-Tree programının hesapladığı parametreler

Ağaç tür dağılımı, ağaç taç örtüsü, taç yoğunluğu, taç sağlığı, yaprak alanı, yaprak biyokütlesi, çalı ve toprak örtüsü gibi kent orman yapısı hakkındaki bilgileri aşağıdaki bazı formüller vasıtası ile hesaplamaktadır.

$$CF = GA/TA$$

CF: taç rekabet faktörü

GA: ağacın taç alanı

TA: ağaç tacının yüzde değeridir.

$$K = (\% CON \times 0.52) + (\% HRD \times 0.65)$$

% CON: alandaki ibrelili taç yüzdesi



% HRD geniş yapraklı ağaçların ta yüzdesi  
Ayrıca ışık tükenme katsayısı ibreli ağaç türleri için  
0,52; yaprağını dökenler için ise 0,65'tir.

$$Lal = \ln ( l/l_0) l-k$$

Lal: yaprak yüzeyi indeksi

L: ta altındaki ışık yoğunluğu

l<sub>0</sub>: tacın maruz kaldığı ışık yüzdesi

k: ışık tükenme katsayısıdır (Tuğluer ve akır,  
2019).

### 3.2. i-Tree programının veri tabanı yapısı

i-Tree programının kullanımı için çeşitli veri  
girişlerinin yapılması gerekmektedir. Programın veri  
tabanı yapısı şu şekildedir;

- Kullanıcılar tarafından girilen arazi verilerini içermektedir.
- Ver tabanı ağaç türleri listesini içermektedir.
- Konumsal ve coğrafi bilgileri içermektedir.
- Hava kalitesi ile ilgili parametreler yersel ölçüm merkezlerinden elde edilmelidir.
- Kirlilik ile ilgili veriler Amerika Birleşik Devletleri (ABD) evre Koruma Ajansı'nın sitesinden elde edilmektedir (Tuğluer ve akır, 2019).

### 3.3. i-Tree programında veri toplama ve değişkenler

Çalışma yapılacak arazide doğrudan ölçülen veriler temel verileri oluşturmaktadır. Temel veriler ve temel verilerden türetilen yapısal çıktılar kullanılarak ekosistem hizmetlerinin tahmini ve değerlemesi yapılmaktadır. Araziden toplanan temel veri türleri:

• **Genel plan bilgileri:** Arazinin genel özelliklerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

• **Ağaç bilgileri:** Ağaçların bazı yapısal özelliklerini tahmin etmek, karbon depolama ve tutma kapasiteleri, enerji tasarrufu etkileri, VOC emisyonları, ağaçların miktarı ve olası zararlı etkileri vb. bilgileri içermektedir. Bahsedilen bu yapısal özellikler için çalışma alanını oluşturan arazideki ağaç ta yapılması gereken ölçümler vardır. Bunlar:

- Ağaç türü,
- Ağaç dbh'ı (her ağaç için yerden 1.37 m yükseklikteki ağaç gövdesi çapıdır),
- Toplam ağaç yüksekliği,
- Ta boyutu
- Ta sağlığı
- Tacın ışığa maruz kalma oranı
- Ağacın çevresindeki binaya mesafesi ve yönü

Bu ölçümlerden elde edilen veriler sonucu yapısal ve çıktılar ve ekosistem hizmetleri değerlendirmesi yapılmaktadır.

• **alı bilgileri:** alıların yaprak alanı, biyokütle tahmini, kirlilik tahmini uçucu organik maddelerin çalılar tarafından salınımı tahminleri gibi bilgileri içermektedir.

• **Toprak st verileri:** alışma alanındaki değerken toprak örtüsü çeşitlerinin dağılımını içermektedir (Nowak, 2021; Tuğluer ve akır, 2019).

### 3.4. i-Tree programı ıktıları

i-Tree kent ağaçlarının kent ekosistemi etkileri üzerine yapısal ve işlevsel olarak aşağıdaki ıktıları vermektedir;

### A. Yapısal çıktılar

**Ağaç tür kompozisyonu (%):** Çalışma alanlarında kaydedilen ağaç türleri toplam ağaç türleri içindeki % katılım değerlerini ifade etmektedir.

**Ağaç sayısı (adet ve %):** Çalışma alanındaki her bir ağaç türünün toplam sayısı ve yüzdesini ifade etmektedir.

**Ağaç gövde göğüs çapı(dbh) dağılımı (%):** Her bir ağaç türünün sahip olduğu yerden 1.37 m yükseklikteki(göğüs yüksekliği) ağaç gövdesi çaplarının yüzde dağılımıdır.

**Ağaç yoğunluğu:** Çalışma alanındaki ağaç yüzeyi toplam alanı(m<sup>2</sup>) dır.

**Ağaç sağlığı (%):** Çalışma alanlarındaki ağaçların sağlıklı ve sağlıklı olmama durumu yüzdelerini ifade etmektedir.

**Ağaç yaprak yüzeyi (m<sup>2</sup>):** Yaprak yüzey alanı ve alanda kapladığı yaprak yüzey alanı yüzdesini(yaprak alanı indeksi) ifade etmektedir. Yaprak yüzey alanı, basitçe bir ağaç üzerindeki yaprakların yüzey alanı (tek taraflı) miktarı olarak tanımlanmaktadır. Öngörülen zemin yüzey alanı birimi başına düşen toplam yaprak alanı miktarı yaprak alanı indeksi (LAI = yaprak alanı (m<sup>2</sup>) / zemin alanı (m<sup>2</sup>)) olarak bilinmektedir (Nowak, 2021; Tuğluer ve Çakır, 2019).

**Yaprak biyokütlesi:** Ağaç yaprak biyokütlesi (kuru yaprakların ağırlığı), türe özgü dönüştürme faktörleri (USDA Forest Service, 2021 a) kullanılarak yaprak alanı tahminlerinden hesaplanmaktadır. Çalıların yaprak biyokütlesi, yapraklar tarafından işgal edilen çalı taç hacmi (m<sup>3</sup>) ve her bir tür için ölçülen yaprak biyokütle faktörlerinin (g m<sup>-3</sup>) çarpımı olarak hesaplanmaktadır (USDA Forest Service, 2021 b). Çalı yaprak alanı, ölçülen tür dönüşüm oranlarına

(m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) dayalı olarak yaprak biyokütlesinin yaprak alanına dönüştürülmesiyle hesaplanmaktadır (Nowak, 2021; Tuğluer ve Çakır, 2019).

### B. İşlevsel çıktılar (Ekosistem hizmetleri)

**Karbon tutma ve depolama:** Kent ağaçlarının allometrik denklemlerle biyokütlesi ve büyüme katsayılarını da baz alarak karbon depolama miktarını tahmin etmektedir. Karbon depolama miktarları tahmin edilirken biyokütle miktarı, büyüme katsayıları, yaprak tipi gibi veriler kullanılmaktadır. Program içerisinde denklemlerle hesaplanarak elde edilen türlere ait katsayılar bulunmaktadır. Model, herhangi bir türe ait veri içermediği zaman en yakın türe ait katsayıyı kullanmaktadır (Tuğluer ve Çakır, 2019).

**Bina enerji kullanım etkileri:** Binaların enerji kullanımını sonucu karbon salınımının ne kadarını ağaçların tuttuğu ağaç büyüklüğü, binaya uzaklığı, bina tipi, bina yönü, iklim bölgesi, yaprak türü ve alan üzerindeki ağaç örtüsü, ağaç gölgeleme faktörü, rüzgâr kırıcı etkileri gibi verilere dayanarak tahmin edilmektedir (Tuğluer ve Çakır, 2019).

**Hava kirliliğini kaldırma:** Saatlik meteorolojik veriler ve yaprak yüzey alan miktarı kullanılarak ağaç kaplı alanlarda yıl boyunca ozon (O<sub>3</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), 10 mikrondan küçük partikül madde (PM<sub>10</sub>), ve 2,5 mikrondan küçük partikül madde (PM<sub>2,5</sub>)nin kuru birikimi tahmin edilmektedir (Nowak, 2021; Tuğluer ve Çakır, 2019).

**Yüzey akışını engelleme ve transpirasyon:** Yaprak/kabuk alanı verilerine ve yerel saatlik hava durumu verilerine dayanarak, saatlik yağmur durdurma, yaprak yüzeylerinden buharlaşma, potansiyel evapotranspirasyon, transpirasyon ve önlenen yüzey akış değerleri tahmin edilmektedir. Tahminler, ağaçların yüzey akışı üzerindeki etkisini tahmin etmek için mevcut ağaç koşullarına göre ve

daha sonra ağaçlar olmadan oluşturulmuştur. Bireysel ağaç etkilerini tahmin etmek için, tüm ağaç popülasyonundaki su etkileri, bireysel ağacın ağaç yaprak alanı ile orantılı olarak ağaç ölçeğine geri oranlanmaktadır (Nowak, 2021).

**Biyojenik uçucu organik bileşimi (VOC) emisyonu:** Uçucu organik bileşim (VOC) emisyonlarının miktarı ağaç türlerine, yaprak biyokütlesine, hava sıcaklığına ve diğer çevresel faktörlere bağlıdır ve program bu verileri kullanarak ağaçlara ait emisyon miktarını tahmin etmektedir (Tuğluer ve Çakır, 2019).

	YAPISAL ÇIKTILAR				EKOSİSTEM HİZMETLERİ						
	Yaprak alanı	Yaprak biyokütlesi	Karbon depolama	Enerji etkileri	Hava kirliliğinin giderilmesi	Yüzey akışını engelleme	Transpirasyon	Voc Emisyonları	Telaflı edici değer	Yaban hayatına uygunluk	UV etkileri
<b>TEMEL VERİLER</b>											
Türler	D	D	D	D	I	I	I	D	D		
dbh			D						D	D	
Ağaç yüksekliği	D	D	C	D	I	I	I	I		D	
Taç taban yüksekliği	D	D	C		I	I	I	I			
Taç genişliği	D	D	C		I	I	I	I			
Tacın ışık maruziyeti			C								
Eksik taç %si	D	D	C	D	I	I	I	I			
Taç sağlığı									D	D	
Arazi kullanımı			C						D	D	
Ağaç-bina mesafesi				D							
Ağacın binaya yönü				D							
Ağaç %'si				D	D	D				D	D
Çalı %'si					D					D	
Bina % si				D							
Zemin örtüsü kompozisyonu					I					D	

D= doğrudan kullanılır, I= dolaylı olarak kullanılır, C= şartlı olarak kullanılır.

**Şekil 2.** Doğrudan sahada ölçülen verilerin bazı yapısal çıktılar ve ekosistem hizmetlerinin tahmin edilmesindeki kullanımı (Nowak, 2021).

**UV etkileri:** bir çalışma alanındaki farklı arazi kullanım türlerinde zemindeki ultraviyole (UV) radyasyon yoğunluğunu azaltmada kentsel ağaç etkileri ölçülebilmektedir (Nowak, 2021).

Yukarıda bahsedilen ekosistem hizmetlerinden karbon emisyonu, hava kirliliğini engelleme, bina enerji kullanımı, yüzey akışı engelleme gibi hizmetlerin maddi değeri i-Tree programında tahmin edilebilmektedir (Nowak, 2021; Tuğluer ve Çakır, 2019).

### 3.5. i-Tree programının araçları

i-Tree araçları temel ve yardımcı araçlar olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır:

#### 3.5.1. Temel araçlar

Ağaç popülasyonlarını, ekosistem hizmetlerini ve değerlerini değerlendiren temel araçlardır.

**A. i-Tree Eco:** Orman yapısını, çevresel etkileri ölçmek için yerel saatlik hava kirliliği ve meteorolojik verilerle birlikte, sahada toplanan eksiksiz envanter verilerinin programa aktarılmasıyla tek bir ağaç veya ormanlık alan analizlerini yapmaktadır. Kirliliğin giderilmesi ve insan sağlığına etkileri, karbon tutma ve depolama, hidrolojik etkiler ( akışın engellenmesi, transpirasyon, yağmur suyunu tutma), bina enerji etkileri, ağaç biyoemisyonları, kuş habitatının uygunluğu, ultraviyole radyasyonun ağaç etkileri gibi fonksiyonel analizler yanında, türlerin durumu ve dağılımı, yaprak alanı ve biyokütle, türlerin önem değerleri, çeşitlilik endeksleri ve göreceli performans gibi yapı ve kompozisyon analizleri ve zararlı risk analiziyle yarar maliyet analizleri bu aracın yaptığı analizler arasındadır. Ayrıca i-Tree Eco mobil veri girişi uygulamaları; tablo ve grafik raporlama ve dışa aktarma ve otomatik yazılı rapor oluşturma gibi özelliklere sahiptir.

Eco aracı diğer i-Tree araçları arasında aynı ABD dışındaki ülkelerde sonuçların doğruluğu açısından uluslararası kullanıma en uygun olan ve en yaygın kullanılan araçtır ve i-Tree Eco, i-Tree paketinin temel (çekirdek) programıdır (i-Tree, 2024 d; Nowak 2000).

**B. i-Tree Design:** Bu araç, karbondioksit, hava kirliliği, yağmur suyu etkileri ve enerji tasarrufu açısından ağaçların mevcut yıl için ve gelecek 99 yıla kadar olan yararlarını tahmin etmektedir. Tahmini ağaç yaşına dayalı olarak bugüne kadarki toplam yararlar da hesaplanabilmektedir. Birden fazla ağaç ve bina modellenabilmektedir. Sadece Amerika kıtasındaki konumlarda çalışmaktadır (i-Tree, 2024 c).

**C. i-Tree Landscape:** ABD ağaç örtüsü ve nüfus sayımı haritaları/verilerini sağlayarak, iklim ve sosyal sorunlar için öncelikli dikim ve koruma alanlarını belirlemede kullanılmaktadır. Sadece ABD sınırları içerisindeki konumlar için kullanılabilir (i-Tree, 2024 e). i-Tree Landscape'te ağaç dikmek veya korumak için öncelikli yerleri belirlemek amacıyla, ağaç ve geçirimsiz örtü verileri, ABD nüfus sayımı verileriyle birlikte, seçilen coğrafi birimler arasındaki öncelikli alanları vurgulayan bir dizin oluşturmak için kullanılır. Endeks, kullanıcı tarafından seçilen katmanlar için ağırlıklarla geliştirilir (katman ağırlıklarının toplamı 100'e eşit olacak şekilde 0 ile 100 arasında değişir). Endeks değeri ne kadar yüksek olursa, alanın ağaç dikme veya koruma önceliği de o kadar yüksek olur (Nyelele vd., 2019).

**D. i-Tree Hydro:** Bir su havzasındaki ağaç örtüsü ve geçirimsiz örtüdeki değişiklikler sonucu saatlik su akışı ve su kalitesi üzerindeki etkileri simüle etmek için kullanılmaktadır. Model tahminlerini ölçülen saatlik akarsu akışıyla eşleştirmeye yardımcı olmak için otomatik kalibrasyon rutinleri içerir (Nowak, 2021).

**E. i-Tree Canopy:** Havadan görüntüler üzerinde rastgele nokta örnekleme kullanarak araziye gitmeden ağaç örtüsünü ya da arazi örtüsünü (örn; çim, bina, yol vb), sınıflandırmak ve yararlarını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Uluslar arası projeler içinde kullanılabilir (i-Tree, 2024 f).

**F. My Tree:** Bulunduğu konum seçilip, türü, boyu gibi özellikleri belirtilen tek bir ağacın ortamdaki uzaklaştığı karbondioksit ve hava kirliliğinin yanı sıra yağmur suyu etkilerini tahmin etmede kullanılmaktadır. Ağaçları tek tek değerlendirmektedir (i-Tree, 2024 b).

**G. i-Tree Planting:** Bir ağaç dikme projesinin karbondioksit, hava kirliliği, yağmur suyu etkileri, enerji tasarrufu ve gölge açısından uzun vadeli çevresel yararlarını tahmin etmeye yardımcı olur. Ağaçların gelecek yıllarda sağlayacağı değeri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Sadece ABD'de kullanılabilir (i-Tree, 2024 g).

### 3.5.2. Yardımcı araçlar

Temel araçlara yardımcı olarak veya belirli amaçlar için temel araçlardan bağımsız çalışabilen araçlardır.

**A. i-Tree Species:** Konuma göre uygun türleri bulmaya yardımcı olmaktadır. Bunu yaparken karbon depolama, hava kirliliğinin giderilmesi, yağmur suyu etkileri, bina enerji tasarrufu, hava sıcaklığının azaltılması (yoğun gölgeleme etkisi), ultraviyole radyasyonun azaltılması, polen alerjenliği ve rüzgârı perdeleme gibi çevresel faktörleri göz önüne almaktadır. Araç, ağaçların yararlarını en üst düzeye çıkaran, yerel kullanıma uygun türlerin listesini çıkarır (i-Tree, 2024 h).

**B. i-Tree Database:** Veritabanı, uluslararası kullanıcıların i-Tree'ye entegre edilmek üzere yerel şehir, kirlilik ve yağış verilerini göndermelerine

olanak tanımaktadır. Veriler gönderildikten sonraki birkaç ay içinde programa entegre edilmekte ve kullanıcılar söz konusu uluslararası konum için i-Tree Eco veya diğer temel araçlardan birini çalıştırabilmektedir. Ayrıca kullanıcıların küresel bir ağaç veritabanı oluşturmak için yeni ağaç türleri bilgilerini gönderme ve görüntüleme imkânı sağlamaktadır (Nowak, 2021).

**C. i-Tree Projects:** Kullanıcıların arsa verilerini görselleştirmesine, daha fazla analiz ve veri karşılaştırması için gerçek saha verilerini indirmesine olanak tanımaktadır.

**D. i-Tree Glossary:** i-Tree'de kullanılan terimlerin açıklandığı araçtır.

**E. i-Tree Eco Mobile Data Collection:** Mobil cihazlarla veri toplamak için tasarlanmıştır.

**F. i-Tree Pest:** i-Tree Eco içinde olası böcek veya hastalık sorunlarına karşı bir ağacı gözlemlemek için tasarlanmıştır (Nowak 2021).

Yukarıda bahsedilen temel ve yardımcı araçlar dışında i-Tree'nin iş ortakları için geliştirdiği ancak herkesin kullanımına açık olan araçlar da vardır. Bu araçlar:

**Planting Calculator:** Bir ağaç dikme projesinin karbondioksit, hava kirliliği, yağmur suyu etkileri, enerji tasarrufu ve gölge açısından uzun vadeli çevresel yararlarını tahmin etmeye yardımcı olur. Ağaçların gelecek yıllarda sağlayacağı değeri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Sadece ABD'de kullanılabilir (i-Tree, 2024 g).

**County Tree Benefits:** Bir ABD ilçesi içindeki bir alan veya tüm ilçe için faydaları değerlendirmektedir.

**Harvest Carbon Calculator:** Arazi yöneticilerinin hasat edilen ağaç ürünlerinde

depolanan karbon miktarını tahmin etmelerini sağlamaktadır (Nowak 2021).

i-Tree Eco'ya dahil edilen araçlar	i-Tree Eco yöntemlerinden elde edilen değerler	i-Tree Eco'dan bağımsız araçlar
Forecast	Canopy <sup>a</sup>	Cool River*
Hydro <sup>b</sup>	County <sup>a</sup>	Harvest
Streets	Design	
	Landscape <sup>a,c</sup>	
	MyTree	
	Planting	
	Projects <sup>d</sup>	
	Species <sup>c</sup>	

<sup>a</sup> ABD ilçeleri için ağaç örtüsünün alan (m<sup>2</sup>) başına türetilmiş değerlerini kullanmaktadır.

<sup>b</sup> i-Tree Hydro'nun bazı rutinleri i-Tree Eco'ya dahil edilmiştir.

<sup>c</sup> Gelecekte i-Tree Eco'ya dahil edilecektir.

<sup>d</sup> i-Tree Eco sonuçlarını ve verilerini görüntülemektedir.

\* i-Tree cool river nehir kıyısındaki gölgelenme ve geçirimsiz yüzey akışının etkilerini simüle eden bir araçtır. Sadece araştırma programlarında ileri düzey teknik kullanıcılar için geliştirilmiştir.

**Şekil 3.** Diğer i-Tree araçlarının temel araç olan i-Tree Eco ile ilişkisi (Nowak, 2021).

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Dünya nüfusunun % 57'si kentlerde yaşamaktadır (UNICEF, 2023) ve kentlerin sunduğu iş fırsatları, sosyal ve kültürel aktivitelerin varlığı, pek çok ihtiyaç ve hizmete erişim kolaylığı gibi avantajlarından dolayı gün geçtikçe kentlerdeki nüfus yoğunluğu artmaktadır. Nüfus yoğunluğuna bağlı olarak kentsel yapı yoğunluğu beraberinde plansız ve çarpık kentleşmeye ve bu da kentin yeşil alanlarının yerini yapı bloklarına bırakmasına neden olmaktadır. Her ne kadar Covid-19 salgını sonrası kentten kıra doğru göç yaşanmaya başlasa da eğitim alan, çalışan pek çok kişi için kentler vazgeçilemez olmaktadır. Bundan dolayı şehre göçü durdurmak mümkün olmasa da kentlerin yaşanabilirliğini korumak, sürdürülebilirliğini sağlamak mümkün olabilmektedir.

Kentlerdeki yeşil alanlar kent ormanları, parklar, bitkisel dokunun hâkim olduğu kent meydanları gibi pek çok alanı kapsamaktadır ve kent insanının ihtiyaç duyduğu pek çok ekosistem hizmetini sağlamaktadır. Bu hizmetlerin yanı sıra kentsel ısı adası etkilerini azaltma, mikro iklim oluşturma, termal konfor sağlama, kentin iklim değişikliğine adaptasyonunu kolaylaştırma gibi kent ve kentli için pek çok yarar sunmaktadır.

Ancak bazı durumlarda bitki örtüsünün, ağaçların kabul edilen yararlarının yanında ağaç polenlerinden kaynaklanan alerjiler ve solunum yolu rahatsızlıklarının mevsimsel olarak artışına neden olma, hem yaprak dökmeyen hem de yaprak döken ağaçlardan kaynaklanan ağaç gölgesi nedeniyle kış aylarında bina enerji kullanımındaki artışlar ve istilacı veya egzotik bitkiler nedeniyle yerel biyoçeşitlilikteki değişiklikler gibi diğer dolaylı maliyetler oluşturma gibi durumlara da neden olabildiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Kentsel ağaçlar hava kirliliğini ortadan kaldırıp genel olarak kirlilik konsantrasyonlarını azaltırken,



bazı durumlarda yollara taşan ağaç örtüsü, trafiğin yoğun olduğu cadde kanyonlarında aralıksız ve kapalı kanopilerle yoğun ağaç sıraları kirlilik dağılımını sınırlayabilir ve yerel kirlilik konsantrasyonlarını artırabilir (Abhijith vd., 2017; Veerkamp vd., 2021; Janhäll, 2015; Barwise ve Kumar, 2020; Kumar vd., 2019; Tiwari vd., 2019). Bitki örtüsünün sık olması, hava akışının olduğu cadde veya alanlarda akışı engelleyebilmektedir. Kentsel ağaçlarla ilgili maliyet ve yararların anlaşılması, ağaçlarla kentsel çevrenin iyileştirilmesi için daha iyi tasarımlar yapılmasını sağlayabilir (Nowak, 2020; Venter vd., 2024).

Yeşil alanların sağladığı yarar veya ekosistem hizmetleri maliyetinin hesaplanmasında bir bilgisayar yazılım programı olan i-Tree kullanımı son 10 yılda artmış ve literatür taraması sonucunda i-Tree, i-Tree için geliştirilmiş yöntemler veya i-Tree ya da öncül programlar (UFORE ve STRATUM) hakkında yazılan 1.000'den fazla makale ortaya çıkmıştır (Nowak, 2021). Bu çalışmalarda en fazla kullanılan aracın i-Tree Eco olduğu görülmüştür. İ-Tree Eco'nun en çok tercih edilmesinin nedeni, i-Tree yazılımının temel programı/aracı olması ve uluslararası projelerde yerel saatlik hava kirliliği, meteorolojik veriler ve sahada toplanan envanterlerin programa aktararak, yerel verilerle değerlendirme yapılmasına olanak tanınması, ayrıca diğer i-Tree araçlarına oranla çok daha fazla ekosistem hizmeti yararını belirleyebiliyor olmasıdır.

Yine i-Tree araç tercihleri incelendiğinde, son 10 yılda ülkemizde yapılan çalışmalarda Canopy aracının öne çıktığı görülmektedir. Canopy'nin arazi çalışması gerektirmeden Google Haritalar üzerinde alan sınırını çizerek veya ESRI şekil dosyası yükleyerek rastgele belirlenen noktalar sayesinde arazi ve ağaç örtüsünü ve yararlarını belirleyebiliyor olması tercih edilmesine neden olmaktadır.

i-Tree, arazi ve hava verilerinin zaman içinde yeniden ölçülmesi, yerel kent ormanı kaynakları ve değerlerindeki değişiklikleri izlemek için de bir araç sağlamaktadır (Nowak, 2020). Hem mevcut stoğun hem de stokta zaman içinde meydana gelen değişikliklerin değerlendirilmesi, gelecekte yeterli ve sağlıklı kent ormanlarının sürdürülebilmesi için gereklidir.

Her ne kadar çalışmalarda bazı durumlarda ağaç varlığının olumsuz etki yarattığı (Abhijith vd., 2017; Veerkamp vd., 2021; Janhäll, 2015; Barwise ve Kumar, 2020; Kumar vd., 2019; Tiwari vd., 2019) veya yeşil alanların sokak ölçeğinde hava kalitesini iyileştirmede önemli bir etkisinin olmadığından (Venter vd., 2024) bahsedilmiş olsa da kent ve bölgesel ölçekte değerlendirildiğinde biriktirme mekanizmaları baskındır ve hava kirliliğini azaltıcı etki göstermektedir (Diener ve Mudu, 2021; Vos vd., 2013). Modelleme çalışmaları, on yıllık zaman dilimlerinde % 1 ile % 2 arasında oranlarda yeşil alanların birikim yoluyla hava kalitesini iyileştirebileceğini göstermektedir (Diener ve Mudu, 2021; Nemitz vd., 2020; Nowak vd., 2014).

Yeşil alan olarak adlandırılan kentsel bitki örtüsünün hava kalitesini artırabileceği varsayımı, halk sağlığı (Diener ve Mudu, 2021), kentsel planlama (Huang vd. 2021) ve ekosistem hizmeti (Veerkamp vd., 2021) literatüründe yaygın olarak kabul edilmektedir. Popüler medya (örneğin, Traverso, 2020) ve hatta BM Çevresel Ekonomik Muhasebe Sistemi gibi uluslararası standartlar ve politika çerçeveleri, bitki örtüsünü hava kirliliğini azaltmak için doğaya dayalı bir çözüm olarak önermektedir (Farrell vd., 2021; Venter vd., 2024).

Sonuç olarak, i-Tree programı, gerek bilimsel araştırmalarda ve gerekse uygulamada yaygın olarak kullanılan bir programdır. Özellikle ABD'de kent ağaçlarının ve kentsel bitki örtüsünün ekonomik değerinin saptanması ve bu konudaki

politika ve programların oluşturulmasında önemli katkıda bulunmaktadır. İ-Tree programı ülkemizde de bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır, ancak ilgili kamu kurumları tarafından yeteri derecede kullanılmamaktadır. İ-Tree ve KARBIYOSİS gibi benzeri metot veya programlar yalnızca belediyeler değil, ilgili tüm kamu kurumları ve bilimsel çalışmalar ile desteklenerek kullanılmalıdır. Nitekim i-Tree programının ihtiyaç duyduğu birçok veri (hava kirlilik, yağış indeksleri vb.) Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü gibi bazı kurumların çalışmaları ile elde edilebilmektedir. Bu noktada tüm ilgili kamu kurum ve kuruluşların veri havuzunu genişletmesi ilgili paydaşların bu çalışmaları artırması gerekmektedir.

### Kaynaklar

- Abhijith, K. V., Kumar, P., McNabola, A., Broderick, B., Gallagher, J., Baldauf, R., Pilla, F., Di Sabatino, S., Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014>
- Alvarado, O. (2019). Measuring the benefits of urban nature-based solutions through quantitative assessment tools. Master Thesis, Utrecht University, Holland.
- Andrew, C. ve Slater, D. (2014). Why some UK homeowners reduce the size of their front garden trees and the consequences for urban forest benefits as assessed by i-Tree ECO. *Arboricultural Journal: The International Journal of Urban Forestry*, 36(4), 197-215. DOI: 10.1080/03071375.2014.994388
- Baggethun, E. G. ve Barton, D. (2013). Classifying and Valuing Ecosystem Services for Urban Planning. *Ecological Economics*, (86) 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9(10),1146-56. [10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x)
- Barrufol, M., Schmid, B., Bruelheide, H., Chi, X., Hector, A., Ma, K., Michalski, S. G., Tang, Z., Niklaus, P. A. (2013). Biodiversity Promotes Tree Growth during Succession in Subtropical Forest. *Plos One*, 8(11), e81246. [10.1371/journal.pone.0081246](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081246)
- Barwise, Y. ve Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. *npj Clim Atmos Sci*, 3, 12. <https://doi.org/10.1038/s41612-020-0115-3>
- Cazolla Gatti, P., Reich, P. B., Gamarra, J. G. P., .....Liang, J. (2022). The number of tree species on Earth. *PNAS*, 119 (6), e2115329119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2115329119>
- Davies, H.J., Doick, K., Handley, P., O'Brien, L., Wilson, J. (2017). Delivery of ecosystem services by urban forests *Forest Research, Edinburgh . Forestry Commission Research Report*. [https://cdn.forestresearch.gov.uk/2017/02/fcrp\\_026.pdf](https://cdn.forestresearch.gov.uk/2017/02/fcrp_026.pdf)
- Diener, A. ve Mudu, P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for airborne particles from a public health perspective- with implications for urban planning. *Science of The Total Environment*, 796,148605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148605>
- Elma, S. (2020). Parkların mikroiklimsel etkilerinin Aydın Kanza Parkı (Antalya) örneğinde incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Farrell, C. A, Coleman, L., Kelly-Quinn, M., Obst, C. G., Eigenraam, M., Norton, D., O'Donoghue, C., Kinsella, S., Delargy, O., Stout, J. C. (2021). Applying the System of Environmental Economic Accounting-Ecosystem Accounting(SEEA-EA) framework at catchment scale to develop ecosystem extent and condition accounts. *One Ecosystem*,6,e65582. <https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e65582>

- Feyisa, G. L., Dons, K., Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>
- Guo, W. Y., Seraa Diaz, J. M., Schrod, F., .... Svenning, J. C. (2022). High exposure of global tree diversity to human pressure. *Environmental Sciences*, 119 (25), e2026733119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2026733119>
- Hepcan, Ç.C. ve Hepcan, Ş. (2017). Ege Üniversitesi Lojmanlar Yerleşkesinin Hava Kalitesinin İyileştirilmesine Yönelik Düzenleyici Ekosistem Servislerinin Hesaplanması. *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.*, 54 (1):113-120. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.299257>
- Hill, D. ve Baker, S. (2021). Oxford i-Tree Eco Report 2021. *Treeconomics For Oxford City Council*. <https://www.oxford.gov.uk/downloads/file/860/oxford-i-tree-eco-study>
- Huang, Y., Lei, C., Liu, C., Perez, P., Forehead, H., Kong, S., Zhou, J.L. (2021). A review of strategies for mitigating roadside air pollution in urban street canyons. *Environmental Pollution*, 280, 116971. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116971>
- i-Tree, (2024) a. Legacy Tools. <https://www.itreetools.org/tools/legacy-tools> (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) b. Tools for Assessing Individual Trees, My Tree <https://mytree.itreetools.org/#/> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) c. Tools for Assessing Individual Trees, i-Tree Design. <https://design.itreetools.org/> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) d. Tools for Assessing Individual Trees, i-Tree Eco. <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) e. Tree Canopy Assessment Tools, i-Tree Landscape. <https://landscape.itreetools.org/> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) f. Tree Canopy Assessment Tools, i-Tree Canopy. <https://canopy.itreetools.org/> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) g. Tree Planting Tools, i-Tree Planting. <https://planting.itreetools.org/> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- i-Tree, (2024) h. Tree Planting Tools, i-Tree Species. <https://species.itreetools.org/> (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2024).
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105,130-137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T. S., Hoang, U., Hama, S., Tiwari, A., Sharma, A., Abhijith, K. V., Adlakha, D., McNabola, A., Astell-Burt, T., Feng, X., Skeldon, A. C., Lusignan, S., Morawska, L. (2019). The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment International*, 133(A),105181. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>
- Liang, J., Crowter, T. W., Piscard, N., Wiser, S.K., Zhou, M., Alberti, G., ....Reich, P.B. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 354(6309). [10.1126/science.aaf8957](https://doi.org/10.1126/science.aaf8957)
- Liu, X., Trogisch, S., He, J. S., ....Ma, K. (2018). Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. *Proceedings of the Royal Society B*, 285(1885),20181240. [10.1098/rspb.2018.1240](https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1240)
- Livesley, S.J., McPherson, E. G., Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *J. Environ Qual*, 45 (1) :119-124.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and Challenges for Business and Industry*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Moffat, A.J. (2016). Communicating the benefits of urban trees: A critical review. *Arboricultural Journal*, 38 (2), 1-19. [10.1080/03071375.2016.1163111](https://doi.org/10.1080/03071375.2016.1163111)

- Nemitz, E., Vieno, M., Carnell, E., Fitch, A., Steadman, C., Cryle, P., Holland, M., Morton, R. D., Hall, J., Mills, G., Hayes, F., Dickie, I., Carruthers, D., Fowler, D., Reis, S., Jones L., (2020). Potential and limitation of air pollution mitigation by vegetation and uncertainties of deposition-based evaluations. *Philosophical Transactions A*, 378(2183),20190320.  
<http://doi.org/10.1098/rsta.2019.0320>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 193:119-129.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Nowak, D. J. (2020). Taking Stock: The First Step to Creating Healthier Cities with Trees. *A Biophilic Cities Journal*, 22-27.
- Nowak, D. J. (2021). Understanding i-Tree: 2021 summary of programs and methods. General Technical Report NRS-200-2021. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.  
<https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200-2021>
- Nyelele, C., Kroll, C. N., Nowak, D.J. (2019). Present and future ecosystem services of trees in the Bronx, NY Urban. *Urban Green.*, 42 :10-20. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.018>
- Nyelele, C. ve Kroll, C.N. (2021). A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 214: 104172. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104172>
- Nyelele, C., Kroll C. N., Nowak, D.J. (2022). A comparison of tree planting prioritization frameworks: i-Tree Landscape versus spatial decision support tool. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7: 127703. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127703>.
- O'Brien, L., De Vreese, R., Kernm, M., Sievänen, T., Stojanova, B., Atmiş, E. (2017). Cultural ecosystem benefits of urban and peri-urban green infrastructure across different European countries. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24: 236-248.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.002>
- Ortaçşme, V. Altunbey Zeğerek, P. (2022). iklim adaptasyonunun anahtarı olarak yeşil altyapı: kentsel doğa ve iklim değişikliği. *Peyzaj*, 4(2): 123-132.  
<https://doi.org/10.53784/peyzaj.1220747>
- Raum, S., Hand, K.L., Hall, C., Edwards, D.M., O'Brien, L., Doick, K.J. (2019). Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. *Landscape and Urban Planning*, 190:103590.  
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103590>
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R. N., Wheeler B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment *Environ. Health*, 15(S1). [10.1186/s12940-016-0103-6](https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6)
- Schulze, E.D. (2000). "Carbon And Nitrogen Cycle In Forest Ecosystems" In *Carbon And Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Tiwari, A., Kumar, P., Baldauf, R., Zhang, K.M., Pila, F., Di Sabatino, S., Brattich, E., Pulvirenti, B., (2019). Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscale air pollution dispersion models. *Science of The Total Environment*. 672: 410-426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.350>
- Traverso, V. (2020). The best trees to reduce air pollution. BBC, <https://www.bbc.com/future/article/20200504-which-trees-reduce-air-pollution-best>. (Erişim tarihi: 31 Mayıs 2024)
- Tuğluer, M. (2019). Bazı Kent Ağaçlarının Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarını Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Tuğluer, M. ve Gül, A. (2018). Kent ağaçlarının çevresel etkileri ve değerinin belirlenmesinde UFORE modelinin kullanımı ve Isparta örneğinde irdelenmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 19(3): 293-307.  
<https://doi.org/10.18182/tjf.341054>

- Tuğluer M, ve Çakır M. (2019). UFORE Modeli'nin Kent Ekosistemine Hizmet Eden Bileşenlerinin İrdelenmesi. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamalar Dergisi, 4(2),193-200. <https://doi.org/10.30785/mbud.586754>
- Tülek, B. ve Ersoy Mirici, M. (2019). Kentsel sitemlerde yeşil altyapı ve ekosistem hizmetleri. PEYZAJ, 1(2), 1-11.
- UNICEF, (2023). How many people are in the world?. <https://data.unicef.org/how-many/how-many-people-are-in-the-world/> (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2024)
- USDA Forest Service (2006). i-Tree. <https://www.fs.usda.gov/research/products/dataandtools/tools/i-tree> (Erişim tarihi: 19 Mayıs 2024)
- USDA Forest Service, (2021) a. Conversion Factors for Leaf Area to Biomass. [https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr-nrs200-2021\\_appendixes/gtr\\_nrs200-2021\\_appendix4.pdf](https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr-nrs200-2021_appendixes/gtr_nrs200-2021_appendix4.pdf) (Erişim tarihi: 1 Haziran 2024)
- USDA Forest Service, (2021) b. Conversion Factors for Shrub Volume to Biomass. [https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr-nrs200-2021\\_appendixes/gtr\\_nrs200-2021\\_appendix5.pdf](https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr-nrs200-2021_appendixes/gtr_nrs200-2021_appendix5.pdf) (Erişim tarihi: 1 Haziran 2024)
- Üstündağ, Ç., Karataş, Ş. İ., Parıldar, N. N., Artar, M. (2023). Kentsel ısı adalarının azaltılmasında yeşilaltyapı sistemlerinin önemi. Peyzaj, 5(2), 124-134. <https://doi.org/10.53784/peyzaj.1406139>
- Veerkamp C.J., Schipper, A. M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A., Hanson, H. I. (2021). A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure. Ecosystem Services 52,1011367. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>
- Venter, Z. S., Hassani, A., Stange, E., Schneider, P., Castell, N. (2024). Reassessing the role of urban green space in air pollution control. Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, 121 (6) e2306200121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306200121>
- Vos, P. E. J., Maiheu, B., Vankerkom, J., Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?. Environmental Pollution, 183:113-122. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.021>
- World Bank (2023). Urban Development, Washington DC. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Today%2C%20some%2056%25%20of%20the,people%20will%20live%20in%20cities.> (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2024)
- Wu, J., Wang, Y., Qiu, S., Peng, J. (2019). Using the modified i-Tree Ecomodel to quantify air pollution removal by urban vegetation. Science of the Total Environment, 688, 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.437>
- Yüksel, Ü. D., ve Yılmaz, O. (2008). Ankara kentinde kentsel isi adasi etkisinin yaz aylarında uzaktan algilama ve meteorolojik gözlemlere dayali olarak saptanmasi ve değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(4).