T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

YEŞİL ALANLARIN SAĞLADIĞI EKONOMİK YARARLARIN ANTALYA ZEYTİN PARK VE KEPEZ KENT ORMANI ÖRNEĞİNDE BELİRLENMESİ

Sümeyra ELMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2026

ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

YEŞİL ALANLARIN SAĞLADIĞI EKONOMİK YARARLARIN ANTALYA ZEYTİN PARK VE KEPEZ KENT ORMANI ÖRNEĞİNDE BELİRLENMESİ

Sümeyra ELMA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2026

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL ALANLARIN SAĞLADIĞI EKONOMİK YARARLARIN ANTALYA ZEYTİN PARK VE KEPEZ KENT ORMANI ÖRNEĞİNDE BELİRLENMESİ

Sümeyra ELMA

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2026

Evrak Tarih ve Sayısı: 26.06.2026-945

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL ALANLARIN SAĞLADIĞI EKONOMİK YARARLARIN ANTALYA ZEYTİN PARK VE KEPEZ KENT ORMANI ÖRNEĞİNDE BELİRLENMESİ

Sümeyra ELMA

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 22/06/2026 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Veli ORTAÇEŞME (Danışman)
Prof. Dr. İbrahim YILMAZ
Prof. Dr. Mert EKŞİ
Doç. Dr. Emrah YILDIRIM
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUĞLUER

Bu belge, güvenli elektronik İmza ile imzalanmıştır.
Evrak sorgulaması https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5543&eD=BSCVF89C2C&eS=945 adresinden yapılabilir. (PIN:60742)

ÖZET

YEŞİL ALANLARIN SAĞLADIĞI EKONOMİK YARARLARIN ANTALYA ZEYTİN PARK VE KEPEZ KENT ORMANI ÖRNEĞİNDE BELİRLENMESİ

Sümeyra ELMA

Doktora Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Veli ORTAÇEŞME

Haziran 2026; 200 sayfa

Kentsel yeşil alanlar, kentsel mekanlarda çeşitli işlevler yüklenmiş alanlardır ve bu alanların kamu mekanı olmalarına bağlı olarak sağladığı faydalar, kent mekânı içindeki önemlerini artırmaktadır. Kentleşme dinamiklerinin hız kazandığı gelişmekte olan ülkelerde kentsel yeşil alanların sağladığı ekosistem hizmetlerinin mekânsal ve zamansal ölçekte yeterince nicel olarak değerlendirilmediği görülmektedir.

Bu çalışmada Antalya'da yer alan yeşil alanlardan Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın sağladığı karbon tutma ve depolama, yüzey akışı önleme, hava kirliliği giderme ve enerji tasarrufuna katkı sağlama ekosistem hizmetlerin ekonomik değeri i-Tree Eco programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Çalışma alanlarında belirlenen örneklem alanlardaki ağaçların bazı yapısal özelliklerinin (gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı) ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için regresyon analizleri; ağaç özelliklerinin gruplandırılarak ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA); gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunması durumunda farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla dürüst anlamlı fark testi (Tukey, HSD) ve en küçük önemli fark (LSD) çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Ayrıca Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park çalışma alanlarının sağladıkları ekosistem hizmetlerinin karşılaştırılması amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Kepez Kent Ormanı'nın enerji tasarrufu, karbon tutma, hava kirliliğini giderme, önlenen yüzey akışı gibi ekosistem hizmetlerinin sağladığı yıllık net fayda 21,96 milyon Türk Lirası; Zeytin Park'ın ise 4,2 milyon Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Karbon depolama açısından Kepez Kent Ormanı değeri daha yüksek bulunmuş olsa da iki alan arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Buna karşılık karbon tutma değerlerinde Zeytin Park'ın, Kepez Kent Ormanı'na göre anlamlı derecede daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Kirlilik giderimi ve yüzey akışını önleme açısından ise Kepez Kent Ormanı'nın Zeytin Park'a göre daha yüksek değerler ürettiği görülmüştür.

Hesaplanan yıllık ekonomik değerler, kent parkı ve kent ormanı arasındaki hizmet üretim kapasitesini karşılaştırmalı olarak ortaya koyarak, farklı yeşil alan tiplerinin kentsel ekosistem hizmeti üretimindeki rolünü nicel olarak ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Ekonomik Değer, Ekosistem Hizmetleri, i-Tree, Kent Ormanı, Kent Parkı, Yeşil Alan

JÜRİ: Prof. Dr. Veli ORTAÇEŞME

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

Prof. Dr. Mert EKŞİ

Doç. Dr. Emrah YILDIRIM

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUĞLUER

ABSTRACT

ESTIMATION OF THE ECONOMIC BENEFITS OF GREEN SPACES IN THE EXAMPLE OF ANTALYA ZEYTIN PARK AND KEPEZ URBAN FOREST

Sümeyra ELMA

PhD Thesis in Landscape Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Veli ORTAÇEŞME

June 2026; 200 pages

Urban green spaces are areas within urban environments that serve various functions. The benefits they provide, stemming from their status as public spaces, enhance their importance within the urban landscape. In developing countries where urbanisation dynamics are accelerating, it is observed that the ecosystem services provided by urban green spaces are not sufficiently quantified at spatial and temporal scales.

In this study, four ecosystem services, namely carbon sequestration and storage, prevention of surface runoff, air pollution abatement and contribution to energy savings, provided by Zeytin Park and Kepez Urban Forest in Antalya and the economic value of these services were calculated using the i-Tree Eco programme. Regression analyses were conducted to determine the effects of certain structural characteristics of trees (trunk diameter, tree height, crown height, crown width and crown cover area) on ecosystem services. One-way variance analysis (One-Way ANOVA) was conducted to make a comparison of the effects of these tree characteristics on ecosystem services. Tukey HSD and LSD multiple comparison tests were employed to identify differences between the groups. Furthermore, an independent samples t-test was applied to compare the ecosystem services provided by the Kepez Urban Forest and Zeytin Park study areas.

The results of the study indicate that the annual net benefit provided by the ecosystem services of the Kepez Urban Forest including energy savings, carbon sequestration, air pollution mitigation and reduced surface runoff amounts to 21,96 million Turkish Lira, whereas that of Zeytin Park has been calculated as 4,2 million Turkish Lira. Although the Kepez Urban Forest was found to have a higher value in terms of carbon storage, no statistically significant difference was found between the two areas. In contrast, it was determined that Zeytin Park had significantly higher carbon sequestration values compared to the Kepez Urban Forest. In terms of pollution abatement and prevented surface runoff, it was observed that the Kepez Urban Forest produced significantly higher values than Zeytin Park.

The calculated annual economic values comparatively reveal the service production capacity between urban parks and urban forests, quantitatively

demonstrating the role of different green space types in urban ecosystem service production.

KEYWORDS: Economic Value, Ecosystem Services, i-Tree, Urban Forest, Urban Park, Green Space

COMMITTEE: Prof. Dr. Veli ORTAÇEŞME

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

Prof. Dr. Mert EKŞİ

Assoc. Prof. Dr. Emrah YILDIRIM

Asst. Prof. Dr. Mahmut TUĞLUER

ÖNSÖZ

Giderek büyüyen ve yoğunluğu artan kentlerde, kent parkları ve kent ormanları bireylerin doğayla etkileşim kurma, dinlenme ve psikolojik olarak yenilenme ihtiyaçlarını karşılayan önemli yaşam alanlarıdır. Bununla birlikte bu yeşil alanlar, yalnızca rekreasyonel işlevleriyle değil; hava kalitesinin iyileştirilmesi, karbon depolanması, mikroklima düzenlenmesi ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi çok yönlü ekosistem hizmetleriyle de kentsel sürdürülebilirliğe ve toplumsal refaha önemli katkılar sunmaktadır.

Bu kapsamda, söz konusu alanların sağladığı ekolojik faydaların yalnızca niteliksel olarak değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da ortaya konulması büyük önem taşımaktadır. Ekosistem hizmetlerinin parasal değerlerinin belirlenmesi, mevcut yeşil alanların korunmasına yönelik farkındalığın artırılmasına, karar vericilerin daha bilinçli planlama yapmasına ve gelecekte oluşturulacak yeşil alanların en yüksek faydayı sağlayacak şekilde tasarlanmasına katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda, bu çalışma ile kent parkları ve kent ormanlarının sunduğu ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesi ve bu hizmetlerin ekonomik değerlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle yönlendiren, akademik alanda yetiştiren, her zaman birlikte çalışmaktan memnuniyet duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Veli ORTAÇEŞME'ye; Tez İzleme Komitesi'nde yer alan ve özellikle çalışmalarımın analiz aşamasında çalışmama büyük katkıda bulunan Prof. Dr. İbrahim YILMAZ'a, yine CBS konusunda bana destek alan Doç. Dr. Emrah YILDIRIM ve Doç. Dr. Ahmet BENLİAY'a, her zaman güler yüzlülüğüyle, verdiği moral ve motivasyonu ile her konuda desteğini hissettiren Prof. Dr. Meryem ATİK'e; saha çalışmalarımın planlanmasında bilgi ve tecrübeleriyle çalışmama katkıda bulunan Dr. Orman Mühendisi Ali Cem AYDIN abime; çalışma alanlarımdan biri olan Zeytin Park'la ilgili her konuda yardımcı olan Zeytin Park müdürü sayın Bayram ÇARKCIGİL'e;

Saha çalışmalarımda takıldığım her konuda destek veren Emre YILDIZ arkadaşıma, akademik yola başlamamda ve ilerlememde en büyük desteği veren ve tezimdeki tüm süreçlerde yanımda olan Ömer Yiğit TOPÇU'ya;

Maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiren annem ile kız kardeşime ve tüm saha çalışmalarımı, ölçümlerimi birlikte yaptığım canım babama;

Gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iiii
ÖNSÖZ v
AKADEMİK BEYAN xi
SİMGELER VE KISALTMALAR xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xx
ÇİZELGELER DİZİNİ xxiii
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK TARAMASI 5
2.1. Yeşil Alan Kavramı 5
2.2. Ekosistem Hizmetleri 5
2.3. Yeşil Alanlar ve Ekonomik Değerleme İlişkisi 8
2.4. Ekosistem Hizmetleri Ekonomik Değerleme Yöntemleri 9
2.5. i-Tree Programı 11
2.6. i-Tree Eco 13
2.6.1. Karbon tutma ve karbon depolama 14
2.6.2. Enerji tasarrufu 15
2.6.3. Hava kalitesinin iyileştirilmesi 17
2.6.4. Önlenen yüzey akışı 21
2.6.4.1. Saatlik yağış tutma süreci 22
2.6.4.2. Yıllık yağış tutma süreci 28
2.7. Önceki Çalışmalar 30
2.7.1. Ulusal çalışmalar 30
2.7.2. Uluslararası çalışmalar 32
3. MATERYAL VE METOT 39
3.1. Materyal 39
3.2. Metot 40
4. BULGULAR 67
4.1. Kepez Kent Ormanı 67
4.1.1. Kirlilik giderimi 69
4.1.2. Karbon tutma ve karbon depolama 70

4.1.3. Önlenen yüzey akışı ve hidrolojik etkiler 74
4.1.4. Oksijen üretimi 75
4.1.5. Enerji tasarrufu 77
4.1.6. Kepez Kent Ormanı'nın depoladığı karbon miktarının fonksiyonel analizi 80
4.1.6.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 83
4.1.6.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 85
4.1.6.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 86
4.1.6.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 88
4.1.6.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 89
4.1.7. Kepez Kent Ormanı'nın tuttuğu karbon miktarının fonksiyonel analizi 91
4.1.7.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 93
4.1.7.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 94
4.1.7.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 95
4.1.7.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 97
4.1.7.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 98
4.1.8. Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarının fonksiyonel analizi…..... 100
4.1.9. Kepez Kent Ormanı'nda giderilen kirlilik miktarının fonksiyonel analizi……..... 101
4.1.9.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi 103

4.1.9.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi.....104
4.1.9.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi.....106
4.1.9.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi.....107
4.1.9.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi.....109
4.1.10. Kepez Kent Ormanı'nda üretilen oksijen miktarının fonksiyonel analizi…….....111
4.1.10.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi.....112
4.1.10.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi.....114
4.1.10.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi.....115
4.1.10.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi.....117
4.1.10.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi.....118
4.2. Zeytin Park.....121
4.2.1. Kirlilik giderimi.....123
4.2.2. Karbon tutma ve karbon depolama.....124
4.2.3. Önlenen yüzey akışı ve hidrolojik etkiler.....127
4.2.4. Oksijen üretimi.....129
4.2.5. Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarının fonksiyonel analizi.....132
4.2.5.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi.....134
4.2.5.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi.....135
4.2.5.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi.....137

4.2.5.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 138
4.2.5.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi 140
4.2.6. Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarının fonksiyonel analizi 141
4.2.6.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 143
4.2.6.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 144
4.2.6.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 145
4.2.6.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 147
4.2.6.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi 148
4.2.7. Zeytin Park'ın önlenen yüzey akış miktarının fonksiyonel analizi 150
4.2.8. Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarının fonksiyonel analizi 151
4.2.8.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi 153
4.2.8.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi 154
4.2.8.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi 156
4.2.8.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi 157
4.2.8.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi 158
4.2.9. Zeytin Park'ın ürettiği oksijen miktarının fonksiyonel analizi 160
4.2.9.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi 161
4.2.9.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi 162

4.2.9.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi 164
4.2.9.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi 165
4.2.9.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi 167
4.3. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı Karşılaştırması 170
4.3.1. Karbon depolama bakımından karşılaştırma 170
4.3.2. Karbon tutma bakımından karşılaştırma 171
4.3.3. Önlenen yüzey akışı bakımından karşılaştırma 172
4.3.4. Kirlilik giderimi bakımından karşılaştırma 173
4.3.5. Oksijen üretimi bakımından karşılaştırma 174
5. TARTIŞMA 175
6. SONUÇLAR 187
7. KAYNAKLAR 189
ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum "Yeşil Alanların Sağladığı Ekonomik Yararların Antalya Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı Örneğinde Belirlenmesi" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

22 / 06 / 2026
Sümeyra ELMA

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AY : Ağaç yüksekliği

c : LAI ile ilişkili kanopi örtüsü oranı

C1 : Yoğun makilik

C2 : Orta yoğun makilik

C3 : Az yoğun makilik

C : Karbon

C_{depo} : Depolanan karbon miktarı

$C_{depo\ ekonomik\ değer}$: Depolanan karbon miktarının ekonomik değeri

C_{tutma} : Tutulan karbon miktarı

$C_{tutma\ ekonomik\ değer}$: Tutulan karbon miktarının ekonomik değeri

C_t : Eski biyokütle ile tutulan karbon miktarı

C_{t+1} : Yeni biyokütle ile tutulan karbon miktarı

C_k : Kirleticinin havadaki konsantrasyonu

CC : Ağaç başına gölgelik örtüsü yüzdesi

CFA : İklimlendirilmiş birim zemin alanı

CO : Karbonmonoksit

CO_2 : Karbondioksit

$CO_{2\ depo}$: Depolanan karbondioksit miktarı

$CO_{2\ tutma}$: Tutulan karbondioksit miktarı

Cp : Nemli havanın özgül ısısı

Çf : Fıstık Çamı meşceresi

Çz : Kızılçam meşceresi

d : Haftanın günü

D : Buhar basıncı açığı

D_t : t zamanında kanopiden gerçekleşen damlama

DT : Çiğ noktası

d_t : Ağaç için pürüzlülük yüksekliği

d_w : Su için pürüzlülük yüksekliği

e : Buhar basıncı

e_s : Doymuş buhar basıncı

$E_{değer}$: Enerji tasarrufu ekonomik değeri

Egi_t : t zamanında geçirimsiz örtüden buharlaşma

Egp_t : t zamanında geçirgen örtüden buharlaşma

$E_{maliyet}$: Yerel enerji maliyeti

$E_{T\ tasarruf}$: Yıllık toplam enerji tasarrufu

E_v : Bitki örtüsünden buharlaşan yağış

Ev_t : t zamanında bitki örtüsünden saatlik buharlaşma

Evi_t :t zamanında geçirimsiz örtüden buharlaşma

Evp_t : t zamanında geçirgen örtüden buharlaşma

F : Kirletici akısı

F_c : Ülkenin birim karbon fiyatı

g : Gram

g_s : Stomatal iletkenlik

h : Haftanın saati

ha : Hektar

Ig_t : Bitki örtüsüz alanda t zamanındaki infiltrasyon

Iv_t : Kanopi altında t zamanındaki infiltrasyon

k : Von karman sabiti

$k_ı$: Işık sönüm katsayısı

kg : Kilogram

KWh : Kilovat saat

m : Metre

m^2 : Metrekare

m^3 : Metreküp

MBtu : Bir milyon İngiliz termal birimi

MWh : Megavat saat

n : Alandaki ağaç sayısı

NO_2 : Azot dioksit

O_2 : Oksijen

O_3 : Ozon

P : Yağış

P_a : Havanın yoğunluğu

P_c : Kanopiye düşen yağış

Pc_t : t zamanında kanopiye düşen ve orda depolanan yağış

PE_t : t zamanındaki potansiyel buharlaşma

PEg_t : t zamanındaki potansiyel yer buharlaşması

P_t : Kanopiye temas etmeden yere ulaşan kanopi dışı yağış

Pt_t : t zamanında kanopiden geçen yağış

$PM_{2.5}$: İki buçuk mikrondan küçük partikül madde

PM_{10} : On mikrondan küçük partikül madde

Pr : Prandtl sayısı

P_W : Suyun yoğunluğu

PY : Yüzey basıncı

R_a : Aerodinamik direnç

R_b : Yarı laminer sınır tabakası direnci

R_c : Kanopi direnci

Rg_t : t zamanında karasal yüzey akışı

Rg_{total} : Bitki örtüsüz alanda geçirimsiz örtüden kaynaklı toplam akış

Rh_{total} : Varsayımsal zeminde geçirimsiz örtüsünden kaynaklı akış

R_n : Net radyasyon

r_m : Mezofil direnci

r_s : Stomatal direnç

r_{soil} : Toprak direnci

r_t : Kutikular direnç

Rv_t : Yüzey akışı

Rv_{total} : Bitki örtüsü ile kaplı alanda, geçirimsiz örtüden kaynaklı toplam akış

S : Yıllık önlenen akış

Sc : Schmidt sayısı

Sgi_t : t zamanında geçirimsiz örtüde su depolama

Sgp_t : t zamanında geçirgen örtüde su depolama

Si_{max} : Geçirimsiz yüzeyler için maksimum su depolaması

S_L : Spesifik yaprak su depolaması

sn : Saniye

SO_2 : Kükürt dioksit

S_v : Bitki örtüsünde depolanan yağış

Svp_t : t zamanındaki geçirgen örtü depolaması

Sp_{max} : Geçirgen örtü için maksimum su depolaması

Sv_{it} : t zamanındaki geçirimsiz örtü depolaması

Sv_{max} : Maksimum su depolaması

S_{vt} : t zamanındaki saatlik bitki örtüsü su depolaması

T : Hava sıcaklığı

TG : Taç genişliği

TÖA : Taç örtü alanı

TY : Taç yüksekliği

u : İstasyonda ölçülen rüzgâr hızı

u_* : Rüzgâr sürtünme hızı

UED : İklimlendirilmiş zemin alanı birimi başına enerji tüketimi

u_g : Zemindeki rüzgâr hızı

u_t : Ağaç tepesindeki rüzgâr hızı

u(z) : z yüksekliğinden ölçülen rüzgâr hızı

V_d : Kirleticinin birikim hızı

$V_{d,\ PM2.5}$: 2.5 mikrondan küçük partikül maddelerin birikim hızı

$V_{d,\ PM2.5\ ort.}$: 2.5 mikrondan küçük partikül maddelerin ortalama birikim hızı

$V_{d,\ PM10}$: 10 mikrondan küçük partikül maddelerin birikim hızı

$V_{d,\ PM10\ ort.}$: 10 mikrondan küçük partikül maddelerin ortalama birikim hızı

w : Yılın haftası

$\bar{x_d}$: Haftanın günü ortalaması

$\bar{x_h}$: Günün saati ortalaması

x_{ilk} : Eksik veriden sonraki ölçüm değeri

x_{son} : Eksik veriden önceki ölçüm değeri

$\bar{x_w}$: Yılın haftası ortalaması

$\bar{x_y}$: Veri setindeki eksik olmayan yıllık tüm verilerin ortalaması

Z1 : 1956 yılından beri var olan zeytinlik

Z2 : 1981 yılından beri var olan zeytinlik

Z3 : 2009 yılından beri var olan zeytinlik

z : Rakım

Z_g : Yer için rüzgâr tahmin yüksekliği

z_{ov} : Kütle aktarım katsayısı

z_t : Ağaçlar için rüzgâr tahmin yüksekliği

z_u : Rüzgâr ölçüm yüksekliği

% : Yüzde

^oC : Santigrat derece

β_1 : Türlere özgü model katsayısı

β_2 : Türlere özgü model katsayısı

σ^2 : Hata varyansı

ΔE_{CT} : Soğutma enerjisi tasarrufu

ΔE_{CU} : Isıtma enerjisi tasarrufu

ΔUED^T_j: °C başına UED'deki değişim

ΔUED^U_j: Rüzgâr hızındaki yüzde değişim başına UED'deki değişim

ΔT^{CC}_j : Kanopi hava sıcaklık katsayısı

ΔU^{CC}_j : Kanopi rüzgâr hızı katsayısı

λ : Gizli buharlaşma ısısı

Δ : Doygun buhar basıncı eğimi

Υ : Hava basıncı ve sıcaklığa bağlı psikrometrik sabit

, : Ondalık ayracı

£ : İngiliz sterlini

$: Amerikan doları

₺ : Türk lirası

€ : Euro

µg : Mikrogram

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

BAI : Kabuk yüzey alanı indeksi

BenMAP : Çevresel Faydaların Haritalandırılması ve Analizi Programı

BM : Birleşmiş Milletler

BVOC : Biyojenik uçucu organik bileşik

CICES : Ekosistem Hizmetlerinin Ortak Uluslararası Sınıflandırması

GÖVDE ÇAPI : Göğüs yüksekliğindeki ağaç çapı

EPA : Çevre Koruma Ajansı

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

HFY : Hedonik Fiyat Yöntemi

IPCC : Hükümetler arası iklim değişikliği paneli

KARBİYOSİS : Karbon Depolama ve Biyokütle Hesaplama Sistemi

KDY : Koşullu Değerlendirme Yöntemi

LAI : Yaprak alan indeksi

MCTI : Hareketli Toplum Ağaç Envanteri

MEA : Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi

PAR : Fotosentetik aktif radyasyon

SDEMm : Değiştirilmiş alana bağlı etki yöntemi

SEEA-EA : Çevre-Ekonomik Muhasebe Sistemi- Ekosistem Muhasebesi

SMY : Seyahat-Maliyet Yöntemi

STRATUM Araçları : Kentsel Orman Yöneticileri için Sokak Ağaçları Kaynak Analizi

TEEB : Ekosistemlerin ve Biyoçeşitliliğin Ekonomisi

TL : Türk lirası

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UFORE : Kentsel Ormanların Etkileri

US : Amerika Birleşik Devletleri

USD : Amerikan doları

USDA : Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı

UV : Ultraviyole

VOC : Biyojenik uçucu organik bileşimi

WHO : Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ekosistem hizmetleri 6

Şekil 2.2. Ekosistem hizmetlerinin ekonomik değer belirleme yöntemleri 9

Şekil 2.3. Önlenen yüzey akışı hesabında temel alınan senaryolar 21

Şekil 2.4. i-Tree Eco'da yağış tutma sürecinin şeması 22

Şekil 2.5. Gerçek senaryo örneği (Senaryo 1) 29

Şekil 2.6. Varsayımsal senaryo örneği (Senaryo 2) 29

Şekil 3.1. Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ın konumu 39

Şekil 3.2. Araştırma metodolojinin akış şeması 40

Şekil 3.3. Zeytin Park'ta 1956, 1981, 2009 yıllarında dikilen zeytin ağaçlarının kapladığı alanlar ve bu alanların 2026 yılına ait hava fotoğrafında çakıştırılması 46

Şekil 3.4. Zeytin Park meşcere tiplerinin sınırları 47

Şekil 3.5. Kepez Kent Ormanı meşcere tiplerinin sınırları 47

Şekil 3.6. Karelaj sisteminin Kepez Kent Ormanı meşcere haritası üzerinde çift tekerrürlü uygulama örneği 49

Şekil 3.7. Karelaj sisteminin Zeytin Park meşcere haritası üzerinde çift tekerrürlü uygulama örneği 50

Şekil 3.8. Meşcere tiplerinin yaşlarına (gelişme çağlarına) göre gruplandırılması 51

Şekil 3.9. a) Kepez Kent Ormanı için tek tekerrürde meşcerelerin örneklem alan sayıları 52

Şekil 3.9. b) Çift tekerrürde meşcerelere düşmesi beklenen örneklem alan sayıları 52

Şekil 3.9. c) Karelaj sonucu çift tekerrürde meşcerelere düşen örneklem alan sayıları 52

Şekil 3.10. a) Zeytin Park için tek tekerrürde meşcerelerin örneklem alan sayıları 52

Şekil 3.10. **b)** Çift tekerrürde meşcerelere düşmesi beklenen örneklem alan sayıları 52

Şekil 3.10. c) Karelaj sonucu çift tekerrürde meşcerelere düşen örneklem alan sayıları 52

Şekil 3.11. a) Gövde çapı ölçümü 54

Şekil 3.11. b) Taç genişliği ölçümü şeması 54

Şekil 3.12. Taç sağlığı görünümleri 55

Şekil 3.13. Taç kaybı ölçümü şeması 56

Şekil 3.14. a) Tacın ışık alımının belirlenmesi 56

Şekil 3.14. b) ışık maruziyeti örnekleri 56

Şekil 3.15. Ağaç yüksekliği ölçümü şeması 57

Şekil 4.1. Çap sınıfına göre Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaç popülasyonunun yüzdesi 68

Şekil 4.2. Kepez Kent Ormanı'ndaki meşcerelerin kapladıkları yaprak alanı 68

Şekil 4.3. Kepez Kent Ormanı zemin örtüsü sınıflarına göre arazi yüzdesi 69

Şekil 4.4. Kepez Kent Ormanı'ndaki yıllık kirlilik giderimi (oklar) ve değerleri (çubuklar) 69

Şekil 4.5. Meşcerelere göre depolanan karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği 71

Şekil 4.6. Meşcerelere göre hektar başına depolanan karbon (karbon yoğunluğu) ve CO_2 eşdeğeri grafiği 72

Şekil 4.7. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği 72

Şekil 4.8. Meşcerelere göre hektar başına yıllık tutulan net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği 73

Şekil 4.9. Meşcerelere göre hektar başına depolanan karbon (karbon yoğunluğu) ve CO_2 eşdeğeri grafiği 75

Şekil 4.10. Meşcerelere göre yıllık oksijen üretimi grafiği 77

Şekil 4.11. Meşcerelere göre hektar başına yıllık oksijen üretimi grafiği 77

Şekil 4.12. Çap sınıfına göre Zeytin Park'taki ağaç popülasyonu yüzdesi 122

Şekil 4.13. Zeytin Park'taki meşcerelerin kapladıkları yaprak alanı 123

Şekil 4.14. Zeytin Park'taki zemin örtüsü sınıflarına göre arazi yüzdesi 123

Şekil 4.15. Zeytin Park'taki yıllık kirlilik giderimi (oklar) ve değerleri (çubuklar) 124

Şekil 4.16. Meşcerelere göre depolanan karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği 125

Şekil 4.17. Meşcerelere göre hektar başına depolanan karbon (karbon yoğunluğu) ve CO_2 eşdeğeri grafiği 126

Şekil 4.18. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği 127

Şekil 4.19. Meşcerelere göre hektar başına yıllık tutulan net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği 127

Şekil 4.20. Meşcerelere göre yıllık önlenen yüzey akışı grafiği 128

Şekil 4.21. Meşcerelere göre yıllık oksijen üretimi grafiği 129

Şekil 4.22. Meşcerelere göre hektar başına yıllık oksijen üretimi grafiği 130

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. i-Tree Eco'nun hesapladığı ekosistem hizmetlerinde kullanılan ekonomik değerleme yöntemleri 11

Çizelge 2.2. Saha verilerinin bazı yapısal çıktılar ve ekosistem hizmetlerinin tahmin edilmesindeki kullanımı 12

Çizelge 2.3. Bazı aerosol kirleticilerin mezofil direnci ve kutikular direnci değerleri ... 19

Çizelge 3.1. Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ta yıllık bakım giderleri 41

Çizelge 3.2. Konum verilerinin i-Tree veri tabanına girildiği şablon örneği 42

Çizelge 3.3. Yağış verilerinin i-Tree veri tabanına girildiği şablon örneği 43

Çizelge 3.4. Kirlilik verilerinin i-Tree veri tabanına girildiği şablon örneği 43

Çizelge 3.5. Çalışma alanlarındaki her bir meşcere tipinin alan miktarlarının toplam alan içerisindeki % oranları 48

Çizelge 3.6. Sahadan toplanan birincil veriler 53

Çizelge 3.7. Dieback sınıfları 55

Çizelge 3.8. Bakım önerisi ve bakım görevleri sınıfları 58

Çizelge 3.9. Sert zemin ve çevre ile bağlantı sınıfları 59

Çizelge 3.10. Çalışma alanlarında geçirimli, geçirimsiz ve bitki örtüsü alanlarının dağılımı 61

Çizelge 3.11. Her bir çalışma alanı için i-Tree Eco'da istenen konum bilgileri 61

Çizelge 3.12. Her bir çalışma alanı için i-Tree Eco'da istenen hava ve kirlilik bilgileri 62

Çizelge 3.13. Her bir çalışma alanı için i-Tree Eco 'ya girişi yapılan saha veri değişkenleri 62

Çizelge 4.1. Kepez Kent Ormanı'ndaki meşcerelerin alandaki oranı ve ağaç sayıları ... 67

Çizelge 4.2. Meşcere sınıflarında hektar başına ağaç sayısı (ağaç yoğunluğu) 68

Çizelge 4.3. Meşcerelere göre yıllık giderilen kirlilik miktarları 70

Çizelge 4.4. Meşcerelere göre depolanan karbon, depolanan karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri 71

Çizelge 4.5. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon, net karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri 73

Çizelge 4.6. Meşcerelerin Kepez Kent Ormanı'ndaki hidrolojik etkileri 74

Çizelge 4.7. Meşcere bazında, yıllık oksijen üretimi ve hektar başına üretilen oksijen yoğunluğu 76

Çizelge 4.8. Bina yakınındaki ağaçların sağladığı yıllık enerji tasarrufu ve ekonomik değeri 78

Çizelge 4.9. Kepez Kent Ormanı'ndaki meşcereler bazında ve tüm alanda sağlanan yıllık fayda ve değerleri 79

Çizelge 4.10. Kepez Kent Ormanı'ndaki toplam sağlanan yıllık fayda ve değerleri 80

Çizelge 4.11. Kepez Kent Ormanı depolanan karbon miktarı ile ağaç özellikleri aralarındaki Pearson korelasyon ilişkileri 81

Çizelge 4.12. Kepez Kent Ormanı depolanan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 81

Çizelge 4.13. Kepez Kent Ormanı'nda depolanan karbon miktarı için sabit terim kısıtlanmadan elde edilen logaritmik regresyon modeli sonuçları 82

Çizelge 4.14. Kepez Kent Ormanı'nda depolanan karbon miktarı için sabit terim sıfır alınarak oluşturulan logaritmik regresyon modeli sonuçları 83

Çizelge 4.15. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 84

Çizelge 4.16. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 84

Çizelge 4.17. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 85

Çizelge 4.18. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 85

Çizelge 4.19. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 86

Çizelge 4.20. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 86

Çizelge 4.21. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 87

Çizelge 4.22. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 87

Çizelge 4.23. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 88

Çizelge 4.24. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 88

Çizelge 4.25. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 89

Çizelge 4.26. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 89

Çizelge 4.27. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 90

Çizelge 4.28. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 90

Çizelge 4.29. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 90

Çizelge 4.30. Kepez Kent Ormanı tutulan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 91

Çizelge 4.31. Kepez Kent Ormanı'nda tutulan karbon miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 92

Çizelge 4.32. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 93

Çizelge 4.33. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 93

Çizelge 4.34. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 94

Çizelge 4.35. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 94

Çizelge 4.36. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 95

Çizelge 4.37. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 95

Çizelge 4.38. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 96

Çizelge 4.39. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 96

Çizelge 4.40. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 97

Çizelge 4.41. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler..... 97

Çizelge 4.42. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 98

Çizelge 4.43. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 98

Çizelge 4.44. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler..... 99

Çizelge 4.45. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 99

Çizelge 4.46. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 100

Çizelge 4.47. Kepez Kent Ormanı önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 100

Çizelge 4.48. Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 101

Çizelge 4.49. Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal regresyon modeli sonuçları 101

Çizelge 4.50. Kepez Kent Ormanı giderilen kirlilik miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 101

Çizelge 4.51. Kepez Kent Ormanı'nda giderilen miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 103

Çizelge 4.52. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler..... 103

Çizelge 4.53. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 104

Çizelge 4.54. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 104

Çizelge 4.55. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 105

Çizelge 4.56. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 105

Çizelge 4.57. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 106

Çizelge 4.58. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 106

Çizelge 4.59. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 107

Çizelge 4.60. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 107

Çizelge 4.61. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 108

Çizelge 4.62. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 108

Çizelge 4.63. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 109

Çizelge 4.64. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 109

Çizelge 4.65. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 110

Çizelge 4.66. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 110

Çizelge 4.67. Kepez Kent Ormanı üretilen oksijen miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 111

Çizelge 4.68. Kepez Kent Ormanı'nda üretilen oksijen miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 112

Çizelge 4.69. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 113

Çizelge 4.70. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 113

Çizelge 4.71. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 114

Çizelge 4.72. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 114

Çizelge 4.73. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 115

Çizelge 4.74. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 115

Çizelge 4.75. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 116

Çizelge 4.76. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 116

Çizelge 4.77. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 117

Çizelge 4.78. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 117

Çizelge 4.79. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 118

Çizelge 4.80. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 118

Çizelge 4.81. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 119

Çizelge 4.82. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 119

Çizelge 4.83. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 120

Çizelge 4.84. Kepez Kent Ormanı'nda bağımlı değişkenler üzerinde etkili bağımsız değişkenler, istatistiksel analiz ve test sonuçları özet tablosu..... 120

Çizelge 4.85. Zeytin Park'taki meşcerelerin alandaki oranı ve ağaç sayıları 121

Çizelge 4.86. Meşcere sınıflarında hektar başına ağaç sayısı (ağaç yoğunluğu)..... 122

Çizelge 4.87. Meşcerelere göre giderilen kirlilik miktarları..... 124

Çizelge 4.88. Meşcerelere göre depolanan karbon, depolanan karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri..... 125

Çizelge 4.89. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon, net karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri..... 126

Çizelge 4.90. Meşcerelerin Zeytin Park'taki hidrolojik etkileri 128

Çizelge 4.91. Meşcere bazında, yıllık oksijen üretimi ve hektar başına üretilen oksijen yoğunluğu 129

Çizelge 4.92. Zeytin Park'taki meşcereler bazında ve tüm alanda sağlanan yıllık fayda ve değerleri..... 131

Çizelge 4.93. Zeytin Park'taki toplam sağlanan yıllık fayda ve değerleri..... 132

Çizelge 4.94. Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 133

Çizelge 4.95. Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları..... 134

Çizelge 4.96. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 134

Çizelge 4.97. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 135

Çizelge 4.98. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 135

Çizelge 4.99. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 136

Çizelge 4.100. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 136

Çizelge 4.101. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 136

Çizelge 4.102. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 137

Çizelge 4.103. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 137

Çizelge 4.104. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 138

Çizelge 4.105. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 138

Çizelge 4.106. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 139

Çizelge 4.107. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 139

Çizelge 4.108. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 140

Çizelge 4.109. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 140

Çizelge 4.110. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 141

Çizelge 4.111. Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 141

Çizelge 4.112. Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 142

Çizelge 4.113. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 143

Çizelge 4.114. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları 143

Çizelge 4.115. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları..... 144

Çizelge 4.116. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler..... 144

Çizelge 4.117. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 145

Çizelge 4.118. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 145

Çizelge 4.119. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler..... 146

Çizelge 4.120. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 146

Çizelge 4.121. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 147

Çizelge 4.122. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 147

Çizelge 4.123. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 148

Çizelge 4.124. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 148

Çizelge 4.125. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 149

Çizelge 4.126. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 149

Çizelge 4.127. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 150

Çizelge 4.128. Zeytin Park'ta önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 150

Çizelge 4.129. Zeytin Park'ta önlenen yüzey akış miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 151

Çizelge 4.130. Zeytin Park'ta önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal regresyon modeli sonuçları 151

Çizelge 4.131. Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 151

Çizelge 4.132. Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 152

Çizelge 4.133. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 153

Çizelge 4.134. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 153

Çizelge 4.135. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 154

Çizelge 4.136. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 154

Çizelge 4.137. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 155

Çizelge 4.138. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 155

Çizelge 4.139. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 156

Çizelge 4.140. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 156

Çizelge 4.141. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 157

Çizelge 4.142. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 157

Çizelge 4.143. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 158

Çizelge 4.144. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 158

Çizelge 4.145. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 159

Çizelge 4.146. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 159

Çizelge 4.147. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 159

Çizelge 4.148. Zeytin Park'ta üretilen oksijen miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması 160

Çizelge 4.149. Zeytin Park'ta üretilen oksijen miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları 161

Çizelge 4.150. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 161

Çizelge 4.151. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 162

Çizelge 4.152. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 162

Çizelge 4.153. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 163

Çizelge 4.154. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 163

Çizelge 4.155. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 164

Çizelge 4.156. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 164

Çizelge 4.157. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 165

Çizelge 4.158. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 165

Çizelge 4.159. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 166

Çizelge 4.160. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 166

Çizelge 4.161. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 167

Çizelge 4.162. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler 167

Çizelge 4.163. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları..... 168

Çizelge 4.164. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları 168

Çizelge 4.165. Zeytin Park'ta bağımlı değişkenler üzerinde etkili bağımsız değişkenler, kullanılan regresyon modelleri ile istatistiksel analiz ve test sonuçları özet tablosu 169

Çizelge 4.166. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait karbon depolama değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri..... 170

Çizelge 4.167. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon depolama değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları 171

Çizelge 4.168. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait karbon tutma değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri..... 171

Çizelge 4.169. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon tutma değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları. 172

Çizelge 4.170. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın önlediği yüzey akışı değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri..... 172

Çizelge 4.171. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın önlediği yüzey akışı değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları 173

Çizelge 4.172. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait kirlilik giderimi değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri..... 173

Çizelge 4.173. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın kirlilik giderimi değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları 173

Çizelge 4.174. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait oksijen üretim değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri..... 174

Çizelge 4.175. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın oksijen üretim değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları 174

Çizelge 5.1. Çalışma alanlarının, sağladığı ekosistem hizmeti faydaları bakımından karşılaştırılması 177

Çizelge 5.2. Ağaç başına hesaplanan ekosistem hizmetlerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması 178

Çizelge 5.3. Hektar başına hesaplanan ekosistem hizmetlerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması 179

Çizelge 5.4. Çalışma alanlarına göre bağımsız ve bağımlı değişkenlerin ilişkisi..... 180

1. GİRİŞ

Doğa ile insan arasındaki etkileşim insanın var olması için zorunludur. İnsanlık tarihi boyunca da doğal ekosistemler, toplumların yaşamını sürdürmesi için vazgeçilmez mal ve hizmetler üretmiştir. 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren gelişen ekosistem hizmetleri yaklaşımı doğal sistemlerin sağladığı faydaların ölçülmesi ve ekonomik olarak değerlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşım, özellikle hızla kentleşen dünyada, yeşil alanların yalnızca estetik unsurlar değil, aynı zamanda ölçülebilir ekonomik değer üreten doğal sermaye bileşenleri olduğunu göstermektedir.

Geçmişten günümüze nüfus verilerine bakıldığında kırsal alanlarda yaşayan nüfus düşerken kentlerde yaşayan nüfus düzenli olarak artış göstermiştir. 2007 yılına kadar dünya nüfusunun kırsal alanlardaki yoğunluğu kentsel alanlara göre daha yüksek iken 2007 yılı dünya nüfusunun kırsal kesimden çok kentsel kesimde yaşadığı ilk yıl olmuştur (O'Neill 2024). Birleşmiş Milletler ’in (BM) World Urbanization Prospects 2025 raporuna göre, 1950 yılında, dünya nüfusunun %20‘si kentsel kesimde yaşıyorken 2025 yılı itibarıyla dünya nüfusunun yaklaşık % 45’i şehirlerde yaşamaktadır. Türkiye nüfusuna bakıldığında ise % 67,5'i yoğun kent, % 15,8'i orta yoğun kent ve % 16,8'i ise kır olarak sınıflandırılan yerleşim yerlerinde yaşamaktadır (TÜİK 2026).Tahminler, bugün 8,2 milyar olan dünya nüfusunun, 2050 yılına kadar artışının üçte ikisinin şehirlerde yaşıyor olacağını göstermektedir (UN-Habitat 2022; United Nations 2025).

Günümüzde kentsel alanlardaki yoğunluğun artışı kentlerde kişi başına düşen yapılı alan miktarını artırmakta, yeşil alan ve ağaç örtüsü miktarını ise azaltmaktadır. 2012-2017 yılları arasında kentleşmenin artmasıyla, ortalama küresel kentsel ağaç örtüsü, % 26,7'den % 26,5'e istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş göstermiştir. Bu da yılda yaklaşık 40.000 hektarlık bir kayba denk gelmektedir (Nowak ve Greenfield 2020). Bu azalma, yalnızca peyzaj kompozisyonundaki bir değişimi değil, aynı zamanda kentsel ekosistem hizmetlerinde niceliksel ve niteliksel kayıpları da beraberinde getirmektedir. Kentsel ağaçlar; hava kirleticilerin tutulması (Selmi vd. 2016; Qiu vd. 2018; Du vd. 2019; Kais vd. 2025), karbon tutulumu (Woldegerima vd. 2017; Chang vd. 2025; Liu vd. 2025), mikroklima düzenlenmesi (Elma 2020) ve yüzey akışının azaltılması (Liu ve Zhang 2025; Yamaguchi vd. 2025) gibi kritik ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Dolayısıyla ağaç örtüsündeki görece küçük oranlı azalışlar dahi, özellikle hava kalitesinin zaten baskı altında olduğu yoğun kent dokularında, orantısız çevresel etkiler yaratabilmektedir.

Kentleşme ile artan arazi işgali eğilimi (kentsel ve diğer yapay arazi geliştirmeleri için alınan tarımsal, ormanlık ve diğer yarı doğal arazilerdeki değişim) biyolojik çeşitlilik üzerinde baskı oluşturmakta, yaşam alanlarını bozmakta, arazi parçalanmasına, artan sel riski etkilerine kadar çeşitli sorunlara yol açmaktadır (European Environment Agency 2024). 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; Elma ve Ortaçeşme 2024).

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. 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). Yeşil alanlar hava kirliliğini azaltmanın yanında mikro iklimsel etki oluşturarak özellikle yaz aylarında sıcaklıkları düşürebilmektedir. Böylece kentte yaşayan canlılar açısından termal konfor sağlamaktadır (Feyisa vd. 2014; Elma 2020).

Kent peyzajlarının değişen derecelerde önemli bir bileşeni oldukları için ağaçlar, kent sakinlerinin sağlığını ve refahını etkileyecek önemli unsurlardır. Yapılan bazı çalışmalar yeşil alanlar ile kullanıcıların kendi bildirdiği sağlıkları arasında ve uzun ömürlülük ile yeşil alanlara erişim arasında (Tanaka vd. 1996; Takano vd. 2002) pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Tzoulas vd. 2007).

Kentsel yeşil alanlar, kentsel mekanlarda çeşitli işlevler yüklenmiş alanlardır ve bu alanların kamu mekanı olmalarına bağlı olarak sağladığı faydalar, kent mekanı içindeki önemlerini artırmaktadır. Kentsel yeşil alanların, kent mekanı bütününde kapladıkları görece alan ve işlevsel nitelikleri mekan olarak algılanmalarını ve mülkiyet yapılarının getirdiği toplumsal ortak kullanım olanağı, kentsel kamu mekanı olarak yorumlanmalarını sağlarken değeri parasal olarak net bir biçimde ifade edilememekte "kamusal fayda" ifadesiyle açıklanmaktadır. Piyasada bu unsurların üretim etkinliklerinde bedava yani sıfır fiyat ile hesaplanması birçoğunun sömürü düzeyinde kullanılmasının temel nedeni olmuştur. Böyle bir yararlanma sürecinde bir kuşağın önceki kuşaktan devraldığı zenginlik, bir sonraki kuşağa çoğu kez değerini yitirmiş olarak devredilmektedir (Alkay ve Ocakçı 2003; Altunkasa 2008; Abayhan 2009).

Çevre ve doğanın korunması ve iyileştirilmesinden sağlanacak toplumsal kazanç (fayda) ve kayıpların (maliyet) ölçülmesinde piyasa mallarında olduğu gibi en etkili araç paradır. Para, çevresel fayda ve maliyetlerin tahmin edilmesinde bir ölçü çubuğu gibi kullanılabilir. Para cinsinden yapılacak bu bedel ölçümü ile çevreye verilen önemin ve bununla ilişkili politikaların etkinliğinin artması da sağlanabilecektir. Çünkü günümüzde herhangi bir olgu, ne yazık ki para ile ölçülebildiği sürece değer kazanmaktadır (Altunkasa 2008).

Kentleşme dinamiklerinin hız kazandığı gelişmekte olan ülkelerde kentsel yeşil alanların sağladığı ekosistem hizmetlerinin mekânsal ve zamansal ölçekte yeterince nicel olarak değerlendirilmediği görülmektedir.

Yeşil alanların ekonomik değerinin ölçümlerinde; doğrudan (kullanıma bağlı) ölçüm yöntemlerinden koşullu değerlendirme yöntemi (KDY) ve dolaylı (kullanım dışı) ölçüm yöntemlerinden Seyahat-Maliyet Yöntemi (SMY) ile Hedonik fiyat yöntemi (HFY) en yaygın olan yöntemlerdir (Ortaçeşme vd. 1997; Ortaçeşme vd. 2002; Alkay ve Ocakçı 2003). Bu yöntemlerin dışında bazı program veya yazılımlar da yeşil alanların ve ağaçların sağladığı ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bunlar arasında InVEST, ARIES, SoIVES, B£ST, ESTIMAP, i-Tree, Co$ting Nature ve Water World sayılabilir.

InVEST, ARIES, Co$ting Nature araçlarını karşılaştıran Acet vd. (2025) her bir aracın güçlü ve zayıf yönlerin bulunduğunu ancak ekosistem hizmetlerini

değerlendirmek, haritalandırmak ve değerlemek için tek bir ‘en iyi araç’ olmadığını, yapılacak olan çalışmanın amacı, mevcut veriler, eğitim ve deneyim durumu (uzmanlık düzeyi) ile, çıktı olarak elde edilmek istenen sonuca göre araç uygunluğunun farklılık gösterebileceğini belirtmiştir.

InVEST, ARIES, SoIVES, B£ST, ESTIMAP, i-Tree programlarının kullanıcı gereksinimleri, nicel değerlendirme ve farklı kentsel peyzaj alanlarında ekosistem hizmetlerini hesaplamada uygunluklarını karşılaştıran bir çalışmada (Alvarado 2019) en iyi performans gösteren programın i-Tree olduğu belirlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığına bağlı Orman Servisi tarafından geliştirilen i-Tree, kullanıcıların kendi verilerini programa girerek pek çok ülkede programı kullanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bahsedilen programların yanı sıra ülkemizde Tuğluer (2019) tarafından geliştirilen KARBİYOSİS (Karbon Depolama ve Biyokütle Hesaplama Sistemi) isimli bir yazılım da vardır. Bu yazılım toprak üstü biyokütle ve bu biyokütlede tutulan karbon miktarını hesaplamaktadır.

i-Tree programı yukarıda belirtilen ölçüm yöntemlerinden farklı olarak Stratum yöntemini kullanmaktadır. Yeşil alan yararlarının hesaplanmasında kullanılan Stratum yöntemi, özellikle kentsel ağaç ve yeşil alan çalışmalarında (örneğin USDA Forest Service tarafından geliştirilen i-Tree Eco modelinde) kullanılan tabakalı değerleme yaklaşımıdır. Program fiziksel terimlerle ağaçların sağladığı faydayı nicelendirmenin (örneğin kg cinsinden tutulan karbon) yanında yerel ekonomik değerleri kullanarak bu tasarrufa bir değer biçerek yeşil alanın fayda-maliyet analizini sağlar. Ayrıca alandaki tür bileşimi analizi ve yaş dağılımı (çap sınıfına göre) gibi ağaç popülasyonlarının yapısal analizine de olanak tanır (Fairman vd. 2010).

Sıcak iklimin hâkim olduğu Antalya kentinde yeşil alanların varlığı, kentin nefes alabilmesi ve yaşanabilirliği açısından ayrı bir öneme sahiptir. Kent sakinlerinin rekreasyon ve serbest zaman gereksinimlerinin karşılanması, kentleşmeden kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılması, aşırı iklim olayları sonucunda yüzey akışının azaltılmasına katkıda bulunma, yaz aylarında oluşan aşırı sıcaklarda gölgeleme etkisiyle binalarda enerji kullanımı azaltma, insanların doğayla temasının sağlanması ve genel olarak kentsel yaşam konforunun arttırılmasında, kent parkları, kent ormanları ve yeşil alanlar önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada Antalya kentinden seçilen bir kent parkı ve bir kent ormanının sağladığı faydaların (net) ekonomik değerinin (veya getirisinin) (yıllık olarak) hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, enerji tasarrufuna katkı sağlama, yağmur suyu tutma, karbondioksit miktarını azaltma ve hava kalitesini artırma olmak üzere dört faydanın ekonomik değeri i-Tree Eco modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Programın hesaplamalarda kullandığı temel hesaplama formülleri açıklanmış ve çalışma mantığı anlatılmıştır. Her bir çalışma alanında önce kendi içindeki tür yaşlarına göre belirlenen alanlar arası karşılaştırma yapılmış daha sonra kent parkı ve kent ormanı arasında karşılaştırma yapılarak sağlanan ekosistem hizmetlerinin faydaları ve bu faydaların parasal değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılacak çalışmanın, bu model kullanılarak Antalya’da yapılacak ilk çalışma olması, çalışma kapsamında modelin veri tabanına girilecek verilerin diğer çalışmalar için kullanılabilecek olması özgün değerini oluşturmaktadır.

Çalışmadan elde edilen bulguların, kentsel yeşil alanların yalnızca estetik ve rekreatif mekânlar olmadığı; aynı zamanda ölçülebilir ve parasal olarak ifade edilebilir ekonomik değer üreten doğal sermaye unsurları olduğunu ortaya koyması beklenmektedir. Hesaplanan yıllık ekonomik değerler, kent parkı ve kent ormanı arasındaki hizmet üretim kapasitesini karşılaştırmalı olarak ortaya koyarak, farklı yeşil alan tiplerinin kentsel ekosistem hizmeti üretimindeki rolünü nicel olarak değerlendirme imkânı sunacaktır. Elde edilen sonuçların, yerel yönetimlerin yeşil alan planlaması, bakım bütçelerinin oluşturulması, ağaçlandırma stratejilerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir kent politikalarının geliştirilmesi süreçlerine bilimsel bir karar destek aracı sağlaması hedeflenmektedir. Ayrıca çalışma, Antalya için oluşturulacak veri altyapısının ilerleyen dönemlerde yapılacak benzer modelleme çalışmalarına temel teşkil etmesi açısından önem taşımaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1.Yeşil Alan Kavramı

“Yeşil alan” kavramının akademik literatürde sistematik olarak ele alınması 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarındaki kentsel planlama hareketlerine dayanmaktadır. Modern anlamda kentsel yeşil alan fikrinin temelleri, kentsel sağlığı koruma ve rekreasyon ihtiyacını merkeze alan peyzaj planlama yaklaşımları ile gelişmiştir.

Kentsel yeşil alan sistemlerinin planlama literatürüne girmesinde önemli katkılardan biri Frederick Law Olmsted tarafından sağlanmıştır. Olmsted ve Calvert Vaux tarafından 19. yüzyılda New York’ta oluşturulan Central Park kentsel yeşil alanlar için bir model haline gelmiştir (Tarr 2010). 20. yüzyılda da yeşil alan kavramı Ian McHarg tarafından geliştirilen ekolojik planlama yaklaşımı (Herrington 2010) ile daha geniş bir çerçeve kazanmıştır.

Günümüzde yeşil alan kavramı, ekosistem hizmetleri yaklaşımı ile birlikte daha kapsamlı bir içerik kazanmıştır. Bu bağlamda yeşil alanlar, doğal veya yarı-doğal bitki örtüsünün baskın olduğu, ekosistem hizmetleri üreterek çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar sağlayan, kamusal ya da özel mülkiyete konu olabilen açık mekânlardır (MEA, 2005; European Commission, 2013; WHO 2016).

Avrupa Kentsel Atlası’ndaki (European Union 2011) tanıma göre kentsel yeşil alanlar bahçeler, hayvanat bahçeleri, parklar ve banliyö doğal alanları ve ormanlar gibi ağırlıklı olarak rekreasyon amaçlı kullanılan kamuya açık yeşil alanları veya rekreasyon amaçlı yönetilen veya kullanılan kentsel alanlarla sınırlı yeşil alanları içermektedir.

Ekosistem hizmetleri yaklaşımı açısından ise yeşil alanlar, insan refahına katkı sağlayan düzenleyici, destekleyici, kültürel ve tedarik edici hizmetler üreten doğal sermaye unsurları olarak tanımlanmaktadır (MEA, 2005). Bu bağlamda yeşil alanlar yalnızca fiziksel boşluklar değil; karbon depolama, hava kalitesini iyileştirme, yağmur suyu akışını düzenleme, mikroiklim oluşturma ve rekreasyon imkânı sağlama, gibi çok boyutlu işlevlere sahip ekolojik sistemlerdir.

Avrupa Birliği mekânsal planlama belgelerinde yeşil alan kavramı, “yeşil altyapı” yaklaşımı çerçevesinde ele alınmakta ve biyolojik çeşitliliği destekleyen, ekosistem hizmetleri sağlayan ve kentsel sürdürülebilirliği artıran stratejik planlama bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (European Commission, 2013).

2.2. Ekosistem Hizmetleri

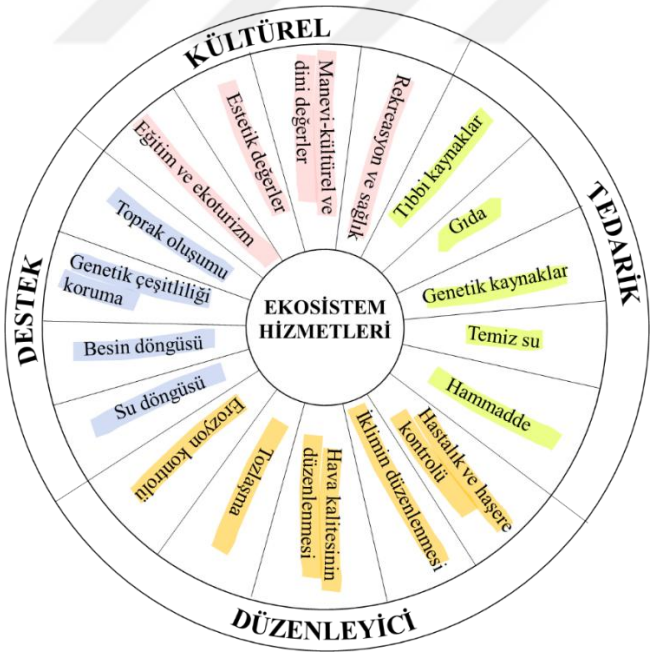
Ekosistem kavramı ilk kez İngiliz ekolojist Arthur George Tansley (1935) tarafından (Trudgill 2007) kullanılmış ve “Organizmalar topluluğu ile onların fiziksel çevresinin birlikte oluşturduğu bir sistem” şeklinde tanımlanmıştır.

Günümüzde ise Millennium Ecosystem Assessment (2005) tarafından ekosistemin “bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar topluluğu ile bunların cansız çevresi arasındaki dinamik etkileşimlerin oluşturduğu işlevsel bir birimdir” tanımı

yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ekosistemler, yaşamın devamlılığı için gerekli olan çok sayıda ürün ve hizmet sunmaktadır. Ekosistem hizmetleri, insanların ekosistemlerden elde ettikleri faydalardır. Ekosistem hizmetleri kavramı üzerine farklı sınıflandırma yaklaşımları geliştirilmiştir. Binyıl Ekosistem Değerlendirmesi Raporu (MEA, 2005) bu yaklaşımların temelini oluşturarak ekosistem hizmetlerini tedarik edici (provisioning), düzenleyici (regulating), destekleyici (supporting) ve kültürel (cultural) hizmetler olmak üzere dört ana grupta tanımlamıştır (Güldal vd. 2025) (Şekil 2.1).

Ekosistemler ve biyoçeşitliliğin doğal sermaye stoğumuzu oluşturduğunu ve toplumsal ve bireysel refah ile ekonomik refahı destekleyen bir fayda akışı sağladığını belirten TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2009), bu çerçeveyi ekonomik değerleme ve politika geliştirme boyutuyla zenginleştirerek benzer bir sınıflandırmayı uygulamaktadır. Daha güncel bir yaklaşım olan CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), ise ekosistemlerin insan refahına yaptığı katkılar olarak tanımladığı hizmetleri tedarik (provisioning), düzenleme ve bakım (regulation & maintenance) ile kültürel (cultural) olmak üzere üç ana tema altında toplamakta; alt kategorilerde enerji, materyal, besin, iklim ve hava kalitesi düzenleme, su döngüsü yönetimi ve estetik– manevi değerler gibi unsurları ayrıntılı şekilde ele almaktadır (FOREST EUROPE 2014). Farklı sınıflandırmalar, ekosistem hizmetlerinin yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal boyutlarını da vurgulamakta ve yönetim ile planlama süreçlerine çok yönlü katkılar sunmaktadır (Güldal vd. 2025).



Şekil 2.1. Ekosistem hizmetleri

Tedarik hizmetleri, ekosistemlerden doğrudan sağlanan ürün ve hizmetler olarak nitelendirilmektedir. Ekosistem ürün ve hizmetleri arasında en görünür olan ve üzerinde

en çok çalışma yürütülen hizmetlerin arasında tedarik hizmetleri gelmektedir (Güldal vd. 2025). Tedarik hizmetleri, ekosistemlerin insanlara doğrudan sunduğu balık, sebze, meyve, bal gibi gıda maddeleri, yaşamın pek çok alanında kullanılan pamuk, keten, ipek, yün gibi hammaddeler, endemik bitki türlerinden elde edilen tarım ve ilaç sanayisinde kullanılan genetik kaynaklar, tıbbi kaynaklar bir çok ilacın elde edildiği tohumlar çiçekler, mantarlar, tıbbi ve aromatik bitkiler, süs malzemesi ve hediyelik eşya olarak kullanılan deriler, kabuklar, kesme çiçekler gibi çıktıları kapsamaktadır (MEA, 2005; Hepcan ve Berberoğlu 2022; Güldal vd. 2025).

Düzenleyici hizmetler, tedarik hizmetlerinden farklı olarak doğadan doğrudan sağlanan hizmetleri değil, doğal süreçlerin sonuçlarından elde edilen faydaları içermektedir. Düzenleyici hizmetler özellikle doğal sistemlerin dengede kalmasına yardımcı olan süreçlerdir. Ekosistemler atmosferden karbon, aerosol ve partikül madde gibi kirleticileri çeker, bu da hava kalitesini etkiler. Arazi örtüsü değişiklikleriyle sıcaklık ve yağışı etkileyerek yerel ölçekte, sera gazlarını tutarak veya bırakarak küresel ölçekte, iklimin düzenlenmesinde önemli bir rol oynarlar. Örneğin ağaçlık alanların yağmur suyunu filtreleyip yüzey akışını azaltarak seli engellemesi gibi. Ekosistemler doğal afetlere karşı koruyucu bir bariyer oluşturur ve bu sayede aşırı hava olaylarından ve/veya doğal tehlikelerden (sel, fırtına, tsunami, çığ, toprak kayması ve kuraklık vb.) kaynaklanan hasarı önler veya azaltır. Yeryüzündeki su akışı havzalar (hidrolojik birimler) ve içinde bulunan ekosistemler tarafından düzenlenmektedir. Ekosistemler yağış suyunun toprağa sızmasını ve toprak katmanları arasında filtre edilmesini sağlar. Bitki örtüsü, toprağın su ve rüzgârın etkisiyle aşınmasını dolayısıyla toprak erozyonunu önler. Akarsu havzalarında suyun taşıyarak getirdiği humus, organik ve anorganik materyaller, çökeldikleri toprakların besin maddesi bakımından zenginleşmesini sağlar. Tozlaşma, meyve ve tohum üretimi ile doğal ve tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği için hayati öneme sahip bir ekosistem hizmetidir ve ekosistemler aynı zamanda tozlayıcılar için önemli bir yaşam alanıdır. Örneğin doğadaki yırtıcı türler, zararlı böceklerin popülasyonunu doğal yollarla kontrol ederek biyolojik kontrolü sağlamaktadır bu da ekosistem dengesini korumaktadır (MEA, 2005; Hepcan ve Berberoğlu 2022; Güldal vd. 2025).

Destekleyici hizmetler, ekosistemlerin sunduğu diğer tüm ürün ve hizmetlerin temelini oluşturan, onların üretimi için gerekli olan hizmetlerdir. Bu hizmetler; besin döngüsünden toprak oluşumuna, su döngüsünden genetik çeşitliliğin korunmasına kadar uzanan çok geniş bir yelpazeyi kapsar. Diğer ekosistem hizmetlerinden farklı olarak, destekleyici hizmetlerin etkileri uzun vadede ortaya çıkar. Mikro ve makro canlıların yerleşip geliştiği toprak, hem kara ekosisteminin geliştiği bir yetişme/yaşama ortamıdır, hem de toprağın kendisi bir kara ekosistemidir. Ekosistemlerdeki üretici organizmalar güneş enerjisini organik bileşiklere dönüştürerek besin maddesi şeklinde depolamasını sağlar. Su döngüsü iklimsel olayları ve yaşamın sürekliliğini belirleyen temel etmenlerden biridir ve yerküre ile atmosfer arasında sürekli bir dolaşım halindedir. Doğal ekosistemler biyolojik çeşitliliğin en önemli depolarıdır ve genetik çeşitlilik ekosistemlerin hastalıklara, iklim değişikliğine ve çevresel şoklara karşı dayanıklılığını artırır (MEA, 2005; Hepcan ve Berberoğlu 2022; Güldal vd. 2025).

Kültürel hizmetler, insanların doğa ile kurdukları maddi olmayan bağları ifade eder. Bu hizmetler, doğadan elde edilen fiziksel ürünlerden çok, bireylerin duyusal, ruhsal, estetik ve bilişsel deneyimlerini kapsar. Ekosistemlerin çeşitliliği kültürlerin

çeşitliliğini etkileyen faktörlerden biridir. İnsanların doğayla ilişkilerinde hissettikleri ilham, güzellik, aidiyet ve anlam duyguları kültürel ekosistem hizmetlerinin temelini oluşturur. Bu hizmetler, yalnızca bireysel mutluluk ve tatmin sağlamakla kalmaz, aynı zamanda doğa koruma politikalarına yönelik toplumsal desteği de artırır. İnsanlar doğayla bağ kurdukça, ekosistem korunması için daha güçlü bir motivasyon geliştirir. İnsan-doğa ilişkisi, rekreasyonel kullanımlar ve turizm olanakları, estetik, manevi ve psikolojik faydalar kültürel hizmetlerle ilişkilidir. Doğa, büyük dinlerin çoğunda ortak bir unsur olup gizem, bilgelik ve dönüşüm mekanı olarak betimlenmiştir. Kara ve su ekosistemleri insanlara çok çeşitli rekreasyon olanağı sağlayarak beden ve zihin sağlığının korunmasına bağışıklığın güçlenmesine ve yaşam kalitesinin artmasına katkıda bulunur. Ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik farklı turizm çeşitlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Kültür turizmi ile ekoturizm aynı zamanda insanların biyolojik çeşitlilik konusundaki farkındalığının artmasına katkıda bulunur. Aynı zamanda pek çok ekolojik süreçlerin ve türlerin yaşam biçimlerin gözlemlenmesi eğitim ve bilişsel gelişime destek olur (MEA 2005; FAO, 2020; Hepcan ve Berberoğlu 2022; Güldal vd. 2025).

2.3. Yeşil Alanlar ve Ekonomik Değerleme İlişkisi

Yeşil alanların ekonomik değerlemesi, çevresel kaynakların piyasa mekanizmaları dışında ürettikleri faydaların parasal olarak ifade edilmesini amaçlayan çevre ekonomisi yaklaşımına dayanmaktadır. Geleneksel ekonomik sistemlerde doğal alanlar çoğunlukla "serbest mal" olarak değerlendirilmiş; dolayısıyla sağladıkları düzenleyici ve kültürel hizmetler piyasa fiyatlarına yansımamıştır. Ancak 1990'lı yıllardan itibaren gelişen ekosistem hizmetleri yaklaşımı, doğal sistemlerin insan refahına katkılarının ölçülmesi ve ekonomik olarak değerlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu çerçevede dönüm noktalarından biri, Costanza ve arkadaşlarının 1997 yılında yayımladığı çalışmadır. Bu çalışma, dünya ekosistem hizmetlerinin küresel ekonomik değerini tahmin ederek doğal sermayenin ekonomik sistem içindeki görünmez katkılarını ortaya koymuştur (TEEB 2012).

Kentsel bağlamda yeşil alanlar; karbon tutulumu, hava kirletici giderimi, yağmur suyu yönetimi, mikroklima düzenleme ve rekreasyon gibi çeşitli ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Bu hizmetlerin ekonomik değerlemesi, yerel yönetimlerin yatırım ve planlama kararlarını desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Bolund ve Hunhammar (1999), kentsel ekosistem hizmetlerini sistematik olarak sınıflandıran ilk çalışmalardan birini yapmış ve kent içi yeşil alanların ekonomik önemini vurgulamıştır.

Yeşil alanların ekonomik değerlemesi, doğal sermaye teorisine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda yeşil alanlar, üretim sürecine dolaylı katkı sağlayan sermaye stokları olarak görülmektedir. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010), ekosistem hizmetlerinin ekonomik sistemlerde görünür hale getirilmesinin politika geliştirme açısından zorunlu olduğunu vurgulamıştır.

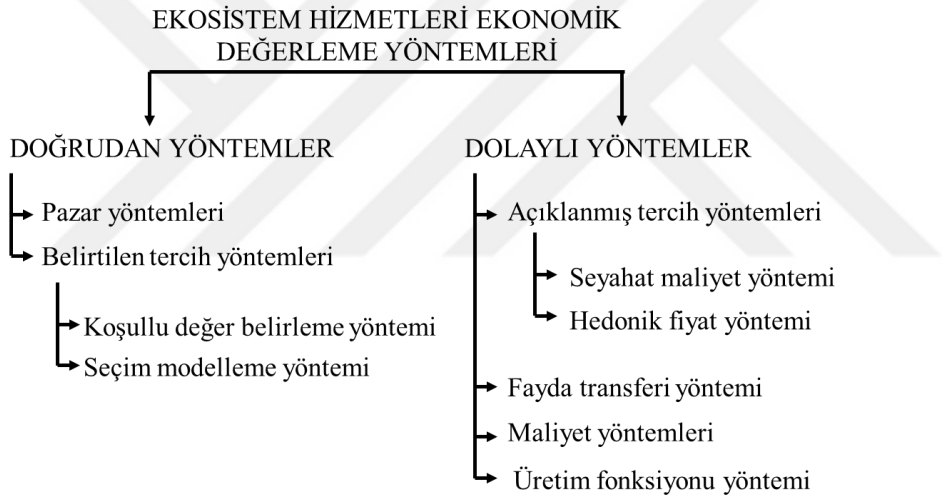
WHO (2016), kentsel yeşil alanların fiziksel ve ruhsal sağlık üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuş; bu etkinin sağlık harcamalarında azalma ve iş gücü verimliliğinde artış gibi ekonomik sonuçları olduğunu belirtmiştir. 2021 yılında, Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü, yayınladığı "Çevre-Ekonomik Muhasebe Sistemi-Ekosistem Muhasebesi" (SEEA-EA) başlıklı bir dizi standartla (Farrell vd. 2021)

ekosistem stokları ve akışlarına ilişkin verilerin toplanması ve bu kayıtların Ulusal Hesaplar Sistemi ile uyumlu hale getirilmesi için bir çerçeve sunarak, yeşil alanların ekonomik karar alma süreçlerine entegre edilmesi için küresel bir standart sağlamıştır. Ekonomik değerleme, yeşil alanların maliyet unsuru değil yatırım unsuru olduğunu, belediyeler için uzun vadeli tasarruf sağladığını, ekosistem hizmetlerinin parasal karşılığının hesaplanabileceğini, doğal sermayenin karar alma süreçlerine entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

2.4. Ekosistem Hizmetleri Ekonomik Değerleme Yöntemleri

Bir mal ya da hizmetin ekonomik değeri, o mal ya da hizmet için birçok bireyin ödeme ya da kabul eğilimlerinin toplamı ile ölçülmektedir. Değer belirleme çalışmalarında insanlara ödemeye ya da kabule eğilimli oldukları miktarlar sorulduğu için, belirlenen değerler parasal terimlerle ifade edilmektedir (Georgiou vd. 1997; Deniz ve Ok 2016).

Değer belirleme yöntemleri; doğrudan ve dolaylı yöntemler şeklinde iki ayrı grupta sınıflandırılabilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Ekosistem hizmetlerinin ekonomik değer belirleme yöntemleri (Alkay ve Ocakçı 2003; Deniz ve Ok 2016; Yetiş Pehlivan 2023'ten uyarlanmıştır).

Pazar değeri yöntemi, ekosistemlerin sağladığı mal ve hizmetlerin ekonomik değerinin piyasada oluşan fiyatlar üzerinden belirlenmesine dayanmaktadır. Bu yöntemde ekosistem tarafından sağlanan ürünler (örneğin gıda, odun, su veya diğer doğal kaynaklar) piyasada işlem gördüğü için, bu ürünlerin piyasa fiyatları ekonomik değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Freeman vd. 2003)

Maliyet temelli değerleme yöntemleri, ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerinin bu hizmetlerin sağlanmaması durumunda ortaya çıkacak zararların maliyeti veya bu hizmetlerin yerine konulması için gerekli maliyetler üzerinden belirlenmesine dayanmaktadır (Freeman vd. 2003).

Açıklanmış tercih yöntemleri, bireylerin çevresel mallar ve hizmetler için doğrudan bir piyasa bulunmasa bile, ilgili piyasalarda sergiledikleri gerçek davranışlardan hareketle bu mallara atfettikleri değerin belirlenmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda bireylerin tercihleri anketlerle değil, gözlemlenebilen ekonomik davranışlar üzerinden ortaya çıkarılmaktadır. Bu gruptaki en yaygın yöntemler; Seyahat Maliyeti Yöntemi, Hedonik Fiyatlandırma Yöntemidir (Freeman vd. 2003).

Fayda Transferi Yöntemi orijinal çalışmalarda yapılan değer tahminlerini alıp, bunları başka bir çalışmanın koşullarına göre düzelterek kullanmaktır (Hanley vd. 2006; Deniz ve Ok 2016).

Belirtilen Tercih Yöntemleri ise, bir araştırmacının bir mal veya hizmette ya da çevresel kalitede oluşabilecek değişimlerle ilgili olarak insanlara doğrudan ödeme eğilimleri ya da değişim nedeniyle oluşabilecek zararın tazminini kabul eğilimini sormaya dayanmaktadır. Bu yöntemler Koşullu Değer Belirleme Yöntemi ve Seçim Modelleme Yöntemleri olmak üzere kendi içinde iki ana grupta toplanmaktadır (Hanley vd. 2006; Deniz ve Ok 2016).

Koşullu Değer Belirleme Yöntemi, kuramsal senaryolar eşliğinde bireylerin ödeme veya kabul eğilimlerini doğrudan sorgulayarak orman kaynaklarının sağladığı tüm pazarı olmayan mal ve hizmetlerin aktif ve pasif kullanım değerlerini ölçme yeteneği ve potansiyeline sahip olan bir yöntemdir (Kaya 2007; Deniz ve Ok 2016).

Seçim Modelleme Yöntemi Seçim modelleme yöntemi, bireylerin farklı özelliklere sahip alternatifler arasından yaptıkları seçimlere dayanarak çevresel mal ve hizmetlerin ekonomik değerinin belirlenmesini sağlayan bir değerleme yöntemidir (Champ vd. 2017). Bu yöntemde bireylere çevresel bir mal veya hizmeti temsil eden farklı senaryolar sunulur ve bu alternatifler arasından tercih yapmaları istenir. Bireylerin yaptığı seçimler analiz edilerek çevresel mal veya hizmetin farklı özelliklerine atfedilen ekonomik değerler tahmin edilir.

Üretim Fonksiyonu Yöntemi bir ekosistem hizmetinin üretim sürecine yaptığı katkıyı belirleyerek, bu katkının ekonomik değerini üretimde meydana gelen değişim üzerinden hesaplayan bir değerleme yöntemidir. Ekosistem hizmeti doğrudan satılmaz, ancak başka bir ekonomik üretimi etkilediği için değeri belirlenebilir (Yetiş Pehlivan 2023).

i-Tree Eco modeli, çevresel değerleme literatüründe üretim fonksiyonu, fayda transferi ve maliyet yaklaşımlarının uygulamalı bir örneği olarak değerlendirilmektedir. Model, ağaçların sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetlerini önce biyofiziksel olarak hesaplamakta, ardından bu çıktıları maliyet katsayıları ile parasal değere dönüştürmektedir. Hava kirliliği giderimi, yağmur suyu azaltımı ve enerji tasarrufu gibi ekosistem hizmetleri hesaplanırken bu ekosistem hizmetlerini sağlayan ağaçlar olmasaydı oluşacak maliyet hesabı üzerinden yapıldığından maliyet yöntemi kullanılır. Yine ağaçların sağladığı ekosistem hizmetlerinin fiziksel olarak hesaplanması üretim fonksiyonu yaklaşımına dayanırken, ağaçların sağladığı ekosistem hizmetleri hesaplanırken kullanılan (örneğin kirletici biriktirme hızı, ışık sönüm katsayısı gibi) katsayılar genellikle literatürden, ekonomik değer belirlerken kullanılan fiyatlar kurumlardan alınarak Fayda Transferi Yöntemi kullanılmış olur (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. i-Tree Eco'nun hesapladığı ekosistem hizmetlerinde kullanılan ekonomik değerleme yöntemleri

Ekosistem Hizmeti	Kullanılan Yöntem
Hava kirliliği giderimi	Maliyet yöntemi + Fayda transferi Yöntemi
Yağmur suyu azaltımı	Maliyet Yöntemi
Enerji tasarrufu	Üretim fonksiyonu + Maliyet Yöntemi
Karbon Depolama	Fayda Transferi Yöntemi
Karbon tutulumu	Fayda Transferi Yöntemi

2.5. i-Tree Programı

i-Tree programı, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) Orman Hizmetleri ve iş birliği 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. Parsel-mahalle-eyalete 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 ve 2006 yılı ağustos ayında piyasaya sürülmüştür (i-Tree, 2024 d; Elma ve Ortaçeşme 2024).

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). 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 kullanılabilecek veriler sağlamaktadır (USDA Forest Service, 2006).

İ-Tree programının kullanılabilmesi için temel veriler ve sahadan toplanan veriler olmak üzere iki veri türüne ihtiyaç vardır. Temel veriler i-Tree veri tabanına girilen verilerdir. Bu veriler, çalışılacak alanın konumu, konuma bağlı kirlilik ve yağış verileri ile konumdaki türlerdir. Bu verilerin veri tabanında olmaması durumunda veri tabanına eklenmesi gerekmektedir. Veri tabanına eklenen temel verilerden sonra, sahadan toplanması gereken veriler, genel olarak çalışma arazisinin genel özellikleri (arazinin ağaç ölçümü yapılan yüzdesi, yüzde ağaç örtüsü, arazi kullanım türleri ve yüzdeleri, yüzde çalı örtüsü, zemin örtüsü türleri ve yüzdeleri, arazi merkez koordinatları) ve arazideki ağaç bilgileri (ağaç türü, GÖVDE ÇAPI ölçüleri, taç altı örtünün geçirimsiz yüzdesi ve çalı yüzdesi, ağaç yüksekliği, taç boyutları, taç sağlığı), olmakla birlikte kullanılacak i-Tree aracına ve hesaplanacak faydaya bağlı olarak detaylandırılmaktadır.

i-Tree, kent ağaçlarının kent ekosistemi etkileri üzerine yapısal ve işlevsel olarak çıktılar vermektedir (Çizelge 2.2). Yapısal çıktılar ağaç tür kompozisyonu (%), ağaç sayısı (adet ve %), ağaç gövde çapı dağılımı (%), ağaç yoğunluğu, ağaç sağlığı (%),

ağaç yaprak yüzeyi (m^2), yaprak biyokütlesi, ağaç kuru yaprak ağırlık kütlesi gibi çıktılardır. İşlevsel çıktılar ise sağlanan ekosistem hizmetleri çıktıları olup, karbon tutma ve depolama, bina enerji kullanım etkileri, hidrolojik etkiler, önlenen kirlilik, üretilen O_2, biyojenik uçucu organik bileşimi (VOC) emisyonu, UV etkileri, odun üretimi gibi hizmetlerdir (Nowak, 2021; Tuğluer ve Çakır, 2019; Elma ve Ortaçeşme 2024). Program bu hizmetleri hem çalışma alanının tamamı hem de alandaki ölçüm yapılan her bir ağaç için bireysel hesaplamanın yanında bu hizmetin parasal değerini de vermektedir.

Çizelge 2.2. Saha verilerinin bazı yapısal çıktılar ve ekosistem hizmetlerinin tahmin edilmesindeki kullanımı (Nowak, 2021).

	YAPISAL ÇIKTILAR			**İŞLEVSEL ÇIKTILAR**				
TEMEL VERİLER	**Yaprak alanı**	**Yaprak biyokütlesi**	**Karbon depolama**	**Enerji etkileri**	**Hava kirliliği giderimi**	**Yüzey akışını engelleme**	**O2 üretme**	**VOC emisyonları**
Türler	**D**	**D**	**D**	**D**	**I**	**I**	**I**	**I**
Gövde çapı			**D**					
Ağaç yüksekliği	**D**	**D**	**C**	**D**	**I**	**I**	**I**	**I**
Taç tabanı 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								
Arazi kullanımı			**C**					
Ağaç-bina mesafesi				**D**				
Ağacın binaya yönü				**D**				
Alanın ağaç % ’si				**D**	**D**	**D**		
Alandaki çalı % ’si					**D**			
Alandaki bina % ’si				**D**				
Zemin örtüsü kompozisyonu					**I**			

D: doğrudan kullanılır, I: dolaylı olarak kullanılır, C: Şartlı olarak kullanılır

Ağaç popülasyonlarını, ekosistem hizmetlerini ve faydalarını değerlendiren i-Tree Eco, i-Tree Design, i-Tree Landscape, i-Tree Hydro, i-Tree Canopy, My Tree ve i-Tree Planting i-Tree'nin temel araçlarıdır. Temel araçlara yardımcı olarak veya belirli amaçlar için temel araçlardan bağımsız çalışabilen i-Tree Species, i-Tree Database, i-Tree Projects, i-Tree Glossary, i-Tree Eco Mobile Data Collection, i-Tree Pest yardımcı araçlardır.

2.6. i-Tree Eco

Kentsel ve yarı-kentsel ağaç topluluklarının sağladığı ekosistem hizmetlerinin faydalarını nicelendirmenin (örneğin kg cinsinden tutulan karbon) yanında yerel ekonomik değerleri kullanarak bu tasarrufa bir değer biçerek yeşil alanın fayda-maliyet analizini sağlar. Tek bir ağaçtan olabildiği gibi ağaç topluluklarından elde edilen envanter verisi olduğu durumda sahadan toplanan verileri, yerel saatlik hava kirliliği ve meteorolojik verilerle birlikte kullanarak kent parkları, kent ormanları, yol ağaçları, kampüs alanları, site/yerleşim alanları, kentsel-çevre geçiş zonları gibi alanlardaki ekosistem hizmetlerini hesaplayabilmekte ve bu hizmetleri parasal değere dönüştürmektedir.

Ekosistem hizmetleri parasal değere dönüştürülürken i-Tree Eco, her bir hizmet için farklı yaklaşımlar kullanmaktadır. Karbon tutma ve karbon depolama değerleri genellikle karbonun sosyal maliyeti veya piyasa değerleri temelinde belirlenirken, hava kirliliği giderimi kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki etkilerine bağlı dışsallık maliyetleri üzerinden, önlenen yüzey akışı ise yağmur suyu yönetimi altyapısına yönelik maliyetler esas alınarak (Murray vd. 1994; Nowak vd. 2014) hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımlar sırasıyla piyasa temelli değerleme, hasar maliyetlerinin önlenmesi ve kaçınılan maliyet yöntemleri ile ilişkilendirilmektedir. Karbon depolama ve karbon tutma değerleri, hava kirliliği giderimi, önlenen yüzey akışı ve enerji tasarrufu değerleri tahmini veya özelleştirilmiş yerel değerlere dayanmaktadır. Yerel değerleri bulunmayan uluslararası raporlar için tahminler Amerika Birleşik Devletleri'nin değerlerine dayanmaktadır ve kullanıcı tanımlı döviz kurlarıyla yerel para birimine çevrilmektedir.

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. Bu analizleri ağaç topluluklarında tek bir ağaca kadar yapabilmekte ve sonuçları parasal değere dönüştürebilmektedir. Ayrıca i-Tree Eco mobil veri giriş uygulamaları; tablo ve grafik raporlama ve dışa aktarma ve otomatik yazılı rapor oluşturma gibi özelliklere de sahiptir.

Eco aracı diğer i-Tree araçları arasında 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 c).

2.6.1. Karbon tutma ve karbon depolama

Karbon tutma atmosferdeki karbondioksitin bitkiler tarafından fotosentez aracılığıyla alınmasıdır. Bir başka deyişle karbonun atmosferden çekilmesidir. Karbon depolama ise tutulan karbonun bitki, toprak ya da ölü örtüde uzun süre saklanmasıdır. Bir başka deyişle karbonun birikmiş (stoklanmış) miktarıdır. Karbon tutma bitkideki yıllık karbon artışını, karbon depolama ise bitkideki toplam karbon birikimi ifade etmektedir.

Ağaçlar büyüme süreçlerinde atmosferdeki karbondioksiti (CO_2) çekerek karbonu (C) tutar ve toprak üstü ve/veya toprak altı birimlerinde (biyokütle) depolar. Karbon tutma ve karbon depolama hesaplamalarının temeli biyokütle denklemlerine dayanır. Ölçülen her ağaç için biyokütle literatürdeki allometrik denklemler kullanılarak hesaplanır (Nowak vd. 2000).

i-Tree Eco modeli karbon depolama ve tutulmasını hesaplarken, ağaç türleri, ağaç morfolojik özellikleri, orman yaşı ve hacmi gibi faktörlerin yanında meteorolojik koşullar ve ağaç örtüsü özelliklerini kullanmakta (i-Tree, 2024 b) ve program, ağaçların allometrik büyüme formüllerini (Denklem 2.1., Denklem 2.2., Denklem 2.3., ve Denklem 2.4.) içermektedir. Taç özellikleri ve ışık rekabeti gibi faktörler de model algoritması tarafından her ağacın yıllık karbon tutma ve depolama miktarını hesaplamak için dikkate alınmaktadır. Yıllık karbon tutma miktarını elde etmek için aralıklı yıllardaki karbon depolama miktarlarının karşılaştırılmasına gerek yoktur, bu da veri gereksinimlerini azaltır. Model, ağaçları yıllar aralığında ölçerek ağaç yüksekliğindeki ve gövde çapındaki artışı ölçmede büyük hatalardan kaçınır. Bu nedenle, mevcut yıl için orman karbon tutma miktarını hesaplamak için bir sonraki orman kaynak envanterini beklemeye gerek yoktur, bu da araştırmanın zamandan tasarrufunu sağlamaktadır (Nowak 2000; Liu vd. 2023; Li vd. 2025).

i-Tree Eco, türe özgü allometrik denklemler veri tabanına dayanmakta olup, karbon tutulumu ile karbon depolama tahmin edilirken kullanılan genel allometrik model formları (Li vd. 2025):

$$Biyokütle = \exp(\beta_1 + \beta_2 \times \ln(DBH) + \sigma^2/2) \quad (2.1)$$

$$Biyokütle = \exp(\beta_1 + \beta_2 \times \ln(DBH^2 \times Yükseklik) + \sigma^2/2) \quad (2.2)$$

$$Biyokütle = \beta_1 \times (DBH^{\beta_2}) \quad (2.3)$$

$$Biyokütle = \beta_1 \times (DBH^2 \times Yükseklik)^{\beta_2} \quad (2.4)$$

Bu biyokütle denklemleri allometrik model formlarını temsil etmekte olup, türlere özgü farklılıklar model katsayıları (β_1, β_2) aracılığıyla tanımlanmaktadır. Gövde çapı (DBH) yerden 1,30 m yükseklikte ölçülür, yükseklik toplam ağaç yüksekliğini ifade eder ve σ^2 parametresi, model hatalarının varyansını temsil etmekte olup, logaritmik ölçekte elde edilen tahminlerin orijinal ölçeğe dönüştürülmesi sırasında oluşan sapmayı düzeltmek amacıyla modele dahil edilmektedir. Tüm ağacın tahmini biyokütlesinin % 50'si karbon depoladığı için biyokütlenin (hem yer üstü hem de yer altı biyokütlesini içerir) depoladığı karbon miktarını hesaplamak için denklem 2.5'te

olduğu gibi 0,5 ile çarpılır (Nowak 1996; Nowak ve Crane 2002; Li vd. 2025).

$$C\ depo = Biyokütle \times 0{,}5 \quad (2.5)$$

Model ağaç yüksekliğindeki gövde çapı artışını tahmin ederek yeni gövde çapı ile tekrar biyokütle hesaplar. Yeni biyokütleyle hesaplanan karbon miktarı (C_{t+1}) ile eski biyokütle ile hesaplanan karbon miktarı (C_t) arasındaki fark alınarak tutulan karbon miktarı bulunur (Denklem 2.6).

$$C\ tutma = C_{t+1} - C_t \quad (2.6)$$

Depolanan veya tutulan karbonun karbondioksite çevrilmesi ise karbon miktarının, karbon ve karbondioksitin molar kütleleri arasındaki oran (44/12) ile çarpılması sonucu elde edilir (Denklem 2.7 ve Denklem 2.8).

$$CO_{2\ depo} = C_{depo} \times (44/12) \quad (2.7)$$

$$CO_{2_{tutma}} = C_{tutma} \times (44/12) \quad (2.8)$$

Ekonomik değer hesabı yapılırken depolanan veya tutulan karbon miktarı ülkenin birim karbon fiyatı (F_c) ile çarpılarak bulunur (Denklem 2.9 ve Denklem 2.10).

$$C\ depo_{ekonomik\ değer} = C_{depo} \times F_C \quad (2.9)$$

$$C\ tutma_{ekonomik\ değer} = C_{tutma} \times F_C \quad (2.10)$$

i-Tree Eco'da, atom ağırlıklarına dayalı karbon tutulumundan, üretilen oksijen miktarı tahmin edilmektedir. i-Tree, oksijen üretimi için ton başına 0 $ değer biçmektedir. Bunun nedeni, atmosferde zaten çok miktarda oksijen bulunması nedeniyle ağaçların oksijen üretim değerinin önemsiz kabul edilmesidir. Net oksijen üretimi, tutulan karbon miktarının oksijen eşdeğerine dönüştürülmesiyle hesaplanmakta olup bu dönüşüm karbon ve oksijenin moleküler ağırlık oranı (32/12) kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Denklem 2.11):

$$Net\ oksijen\ üretimi\ (kg/yıl) = C_{tutma}(\text{kg/yıl}) \times (32/12) \quad (2.11)$$

2.6.2. Enerji tasarrufu

i-Tree Eco'da ağaçların enerji tasarrufuna etkileri, ağaçların rüzgar hızını azaltma ve gölgeleme etkileri olmak üzere iki temele dayanmaktadır. Soğutma için kullanılan enerji yaz aylarında ağaç gölgesi sayesinde azalır. Ağaç gölgesi nedeniyle azalan güneş kazancı nedeniyle kışın ısıtma enerjisi kullanımı artsa da binaların yakındaki ağaçlar tarafından rüzgardan korunması ısıtma enerjisi kullanımını azaltma eğilimindedir.

i-Tree Eco modeli, sıcaklığı düşürmek veya artırmak için tüketilen elektrik ve doğal gaz miktarını hesaplayarak kentsel ormanların enerji tasarrufu faydasını hesaplar ve son olarak, elektrik ve doğal gaz fiyatlarına dayanarak bunu ekonomik değere dönüştürmektedir (Zhao vd. 2023).

i-Tree Eco'nun ağaçların enerji verimliliğine etkisini doğrudan hesaplayan açık formüller yoktur. Bunun yerine McPherson ve Simpson (1999) tarafından geliştirilen modele göre, ağaçların binalar üzerindeki enerji etkileri, doğrudan fiziksel denklemlerle değil, bina tipi, ağaç özellikleri ve iklim koşullarına bağlı olarak türetilmiş birim enerji tasarrufu katsayıları kullanılarak hesaplanmaktadır. Yani i-Tree Eco, enerji tasarrufunu doğrudan formül olarak değil, istatistiksel modeller ve önceden tanımlı değer ve katsayılar üzerinden hesaplamaktadır. Bu kapsamda i-Tree Eco'da birebir kullanılmayan ancak modelin mantığının dayandığı ağaçların rüzgar perdeleme etkisiyle bina ısıtma tasarrufuna ve gölgeleme etkisiyle bina soğutma enerjisi tasarrufuna etkisinin hesaplandığı iki temel formül vardır. Soğutma enerjisi tasarrufunun (ΔE_{CT}) dayandığı temel formül (McPherson and Simpson 1999):

$$\Delta E_{cT} = \sum_{j=1}^{3} [\, \Delta UED_{j}^{T} \times CFA_j \times \Delta T_{j}^{CC} \times CC \times n_j \,] \qquad (2.12)$$

ΔUED_{j}^{T} : UED sıcaklık katsayısı (°C başına UED'deki değişim),

ΔT_{j}^{CC}: kanopi hava sıcaklık katsayısı (hava sıcaklığındaki değişim/kanopi örtüsündeki yüzde değişim),

CC : ağaç başına gölgelik örtüsü yüzdesi,

CFA_j : iklimlendirilmiş birim zemin alanı (m^2),

n_j : alandaki ağaç sayısı

i-Tree'de ısıtma enerjisi tasarrufunun (ΔE_{CU}) dayandığı temel formül (McPherson and Simpson 1999):

$$\Delta E_{cU} = \sum_{j=1}^{3} [\, \Delta UED_{j}^{U} \times CFA_j \times \Delta U_{j}^{CC} \times CC \times n_j \,] \qquad (2.13)$$

ΔUED_{j}^{U} : UED rüzgar katsayısı (°Rüzgâr hızındaki yüzde değişim başına UED'deki değişim),

ΔU_{j}^{CC}: kanopi rüzgar hızı katsayısı (rüzgar hızındaki değişim/kanopi örtüsündeki yüzde değişim),

CFA_j : iklimlendirilmiş birim zemin alanı (m2),

CC : ağaç başına gölgelik örtüsü yüzdesi,

n_j : alandaki ağaç sayısı

Isıtma ve soğutmadan kaynaklı toplam enerji tasarrufu aşağıdaki denklem (2.14) ile hesaplanmaktadır:

$$E_{\text{T tasarruf}} = \Delta E_{\text{CT}} + \Delta E_{CU} \quad (2.14)$$

$E_{\text{T tasarruf:}}$ Yıllık toplam enerji tasarrufu (Kwh)
ΔE_{CT}: Yıllık soğutma enerjisi tasarrufu (Kwh)
ΔE_{CU}: Yıllık ısıtma enerjisi tasarrufu (Kwh)

Toplam enerji tasarrufunun ekonomik değeri aşağıdaki denklem (2.15) ile hesaplanmaktadır:

$$E_{\text{değer}} = E_{\text{T tasarruf}} \times E_{maliyet} \quad (2.15)$$

$E_{\text{değer}}$: enerji tasarrufu ekonomik değeri (TL, USD, EURO vb.)

$E_{\text{T tasarruf}}$: ağaçların sağladığı toplam enerji tasarrufu (kWh)

$E_{\text{maliyet:}}$ yerel enerji maliyeti (TL/ kWh, $/kWh, vb.) Kwh başına birim enerji fiyatı Mart 2025 yılına göre 4,35 Türk lirası (EPDK, 2025) olarak alınmıştır.

i-Tree Eco, ağaçların binaların enerji tasarrufuna olan etkisini değerlendirirken tek veya iki katlı binalara 18 m mesafeye kadar olan ağaçları dikkate alır. Ağaç yüksekliği 6 m'den kısa veya binaya mesafesi 18 m'den fazla olan ağaçların bina enerji kullanımı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı kabul edilir (McPherson and Simpson 1999).

Isınma veya soğutma için kullanılan elektrik sonucu CO_2 salınımı olur. Ağaçların sağladığı enerji tasarrufu sayesinde, azalan enerji talebi ve dolayısıyla ister soğutma ister ısıtma için enerjinin üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının azalması anlamına gelir. Bu nedenle i-Tree Eco enerji tasarrufunu hesaplarken önlenen karbon emisyon değerini de tahmin etmektedir.

2.6.3. Hava kalitesinin iyileştirilmesi

Hava kirliliği, özellikle kirletici kaynakların yoğunlaştığı şehirlerde olmak üzere, dünya çapında önemli bir çevre ve insan sağlığı sorunudur (Serageldin 2002; Hirabayashi ve Kroll 2017). Akdeniz bölgesi gibi atmosferik yağışın az olduğu bölgelerde bitki örtüsü, karasal ekosistemlerde atmosferik partiküllerin uzaklaştırılmasında çok önemli role sahiptir. Hava kirletici maddeler, kent ormanlarının önemli bir rol oynadığı kuru biriktirme süreçleri ile kısmen havadan uzaklaştırılabilir. Partikül madde kuru çökelme hızı, rüzgar hızıyla pozitif (Pugh vd. 2012), sıcaklık ve bağıl nemle ise negatif bir korelasyon göstermektedir. Rüzgar hızı, partikül madde kuru çökelme hızının büyüklüğünü etkileyen en güçlü faktördür ve sıcaklık da önemli bir diğer meteorolojik faktördür (Chen vd. 2012). Kuru çökelme süreçleri ve ağaçlar tarafından partiküllerin tutulması, taç yapısı özellikleri, rüzgar hızı, sıcaklık, partikül boyutu, gaz çözünürlüğü, yaprak boyutu ve morfolojisi gibi birçok faktörden etkilenir (Beckett vd. 2000; Freer-Smith vd. 2005; Hofman vd. 2014; Weber vd. 2014; Blanusa vd. 2015).

i-Tree Eco, saha çalışmasıyla elde edilen kentsel orman bilgileri, konuma özgü veriler, hava durumu verileri ve hava kirletici ölçümlerini kullanarak ağaçlarının yapısını değerlendirir ve ağaçların sağladığı çevresel hizmetleri nicel olarak belirler. Eco kuru birikim bileşenini (UFORE-D) kullanarak yağışsız dönemlerde atmosferden ağaç ve çalılara ulaşan karbon monoksit (CO), azot dioksit (NO_2), ozon (O_3), kükürt dioksit (SO_2), 10 mikrondan küçük partikül madde (PM_{10}) ve 2,5 mikrondan küçük partikül madde ($PM_{2.5}$) kirleticilerinin giderilmesini simüle eder (Hirabayashi vd. 2022).

Eco modeli, aşağıdaki Denklem (2.16) ile ağaçların saatlik kirletici madde giderme oranını hesaplamaktadır (Zhao vd. 2023):

$$F = V_d \times C_k \tag{2.16}$$

F: Kirletici akısı (g m^{-2} h^{-1}), birim yüzeye birim zamanda ulaşan kirletici miktarını ifade etmekte olup, i-Tree Eco modelinde kirletici gideriminin hesaplanmasında temel parametrelerden biridir.

V_d: kirleticinin birikme hızı (m/sn)

C_k: kirleticinin havadaki konsantrasyonu (g/m^3)

Eco'da aerosol ve partikül madde kirleticilerinin birikim hızları farklı şekillerde hesaplanmaktadır:

$PM_{2.5}$ için birikim hızı ($V_{d,\ PM2.5}$) hesabında kullanılan ana formül (Hirabayashi vd. 2022):

$$V_{d,PM\ 2.5} = V_{d,PM\ 2.5\ ort.} \times \mathrm{LAI} \tag{2.17}$$

$V_{d,\ PM2.5\ ort.}$: 2.5 mikrondan küçük partikül maddelerin ortalama birikim hızı (m/s)

LAI: Yaprak alan indeksi (m^2/m^2)

PM10 için birikim hızı ($V_{d,\ PM10}$) hesabında kullanılan ana formül (Hirabayashi vd. 2022):

$$V_{d,PM10} = V_{d,PM10\ ort.} \frac{BAI + LAI}{BAI + LAI_{PM10}} \tag{2.18}$$

$V_{d,\ PM10\ ort.}$:10 mikrondan küçük partikül maddelerin ortalama birikim hızı(m/s)

BAI: kabuk yüzey alanı indeksi (m^2 kabuk / m^2 zemin)

LAI_{PM10}: Parçacık birikimi için yaprak alanı indeksi (6 m^2/m^2)

CO, NO_2, SO_2 ve O_3 aerosolleri için birikim hızı hesabında kullanılan ana formül (Hirabayashi vd. 2022):

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_b + R_c} \tag{2.19}$$

R_a: Aerodinamik direnç (s/m),

R_b: Yarı laminer sınır tabakası direnci (s/m)

R_c: Kanopi direnci (s/m)

Aerodinamik direnç (R_a) formülü (Hirabayashi vd. 2022):

$$R_a = \frac{u(z)}{{u_*}^2} \tag{2.20}$$

U(z): z yüksekliğinden ölçülen rüzgar hızı (m/s)

u_*: rüzgar sürtünme hızı (m/s)

Yarı laminer sınır tabakası direnci (R_b) formülü (Hirabayashi vd. 2022):

$$R_b = 2(Sc)^{2/3} \times (Pr)^{-2/3} \times (k \times u_*)^{-1} \tag{2.21}$$

Sc: Schmidt sayısı (O_3 için 1, CO için 0,76, NO_2 için 0,98 ve SO_2 için 1,15 kullanılır.)

Pr: Prandtl sayısı (=0,72)

k: Von karman sabiti (=0,41)

u_*: rüzgar sürtünme hızı (m/s)

Kanopi direnci için kullanılan formül (Hirabayashi vd. 2022):

$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{r_s + r_m} + \frac{1}{r_{soil}} + \frac{1}{r_t} \tag{2.22}$$

r_s: stomatal direnç

r_m: mezofil direnci

r_{soil}: topral direnci (Büyüme mevsiminde =2941 s/m, diğer durumlarda= 2000 s/m)

r_t: kutikular direnç

Çizelge 2.3. Bazı aerosol kirleticilerin mezofil direnci ve kutikular direnci değerleri (Hirabayashi vd. 2022)

	NO_2 (s/m)	O_3 (s/m)	SO_2 (s/m)
r_m	100 (Hosker and Lindberg 1982)	10 (Hosker and Lindberg 1982)	0 (Wesely 1989)
r_t	20.000 (Wesely 1989)	10.000 (Taylor et al. 1988, Lovett 1994)	8.000 (Taylor et al. 1988, Lovett 1994)

Stomatal direnç stomatal direnç stomatal iletkenliğin tersidir (denklem 2.26).

$$r_s = \frac{1}{g_s} \tag{2.23}$$

r_s: stomatal direnç (s/m)

g_s: stomatal iletlenlik(m/s)

Stomatal iletkenlik yüksek buhar basıncı açığı (D) altında, güçlü biçimde sınırlandırılmaktadır. Öğle ve gece saatlerinde, su stresi olan ve olmayan dönemlerde çok değişken olabilmektedir. Stomatal iletkenlik hesaplanırken izlenen adımlar şu şekildedir:

1. Ağaç örtüsü üzerindeki güneş radyasyonu (PAR), görünür ve yakın kızılötesi kısımlara ayrılır.
2. Bitki örtüsü üzerindeki PAR doğrudan ve dağınık radyasyon olarak tekrardan ayrılır.
3. Ağaç örtüsü katmanlara ayrılır ve ağaç örtüsünün her katmanındaki güneş ışığı alan ve almayan yaprak alanları hesaplanır.
4. Ağaç örtüsünün her katmanında güneş ışığı alan ve almayan yapraklar tarafından yakalanan güneş radyasyonu akı yoğunluğu hesaplanır.
5. Ağaç örtüsünün her katmanındaki güneş ışığı alan ve almayan yapraklar için stoma iletkenliği hesaplanır.
6. Güneş ışığı alan ve almayan yaprak alanlarının oranına göre her katman için stoma iletkenliği ağırlıklandırılır.
7. Tüm katmanlardaki güneş ışığı alan ve almayan yaprakların stoma iletkenliği toplanarak tüm ağaç örtüsü için stoma iletkenliği elde edilir.

İ-Tree hava kirletici konsantrasyonu birimini partikül maddeler için $\mu g/m^3$, aerosoller için ppm şeklinde alır ve konsantrasyon değişimini bu birimler olarak hesaplar.

i-Tree Eco modelinde hava kirliliği gideriminin ekonomik değeri, ABD için, US Environmental Protection Agency (EPA) tarafından geliştirilen Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP) modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak ABD dışındaki ülkeler için model, ya Avrupa medyan dışsallık değerlerine (van Essen vd. 2011) ya da BenMAP çıktılarından türetilmiş birim değerlerin ülkeye özgü sosyo-ekonomik göstergeler (gelir düzeyi, nüfus vb.) kullanılarak uyarlanması prensibine (Nowak vd. 2014) dayanmaktadır. Değerler daha sonra kullanıcı tanımlı döviz kurları ile yerel para birimine çevrilir.

i-Tree Eco içinde hava kirleticilerin gideriminin parasal değeri, fiziksel giderim miktarının (kg veya ton) birim dışsallık maliyetleri ile çarpılması prensibine dayanır (Denklem 2.24). Bu değerler, kirleticilerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin ekonomik karşılığını temsil etmektedir:

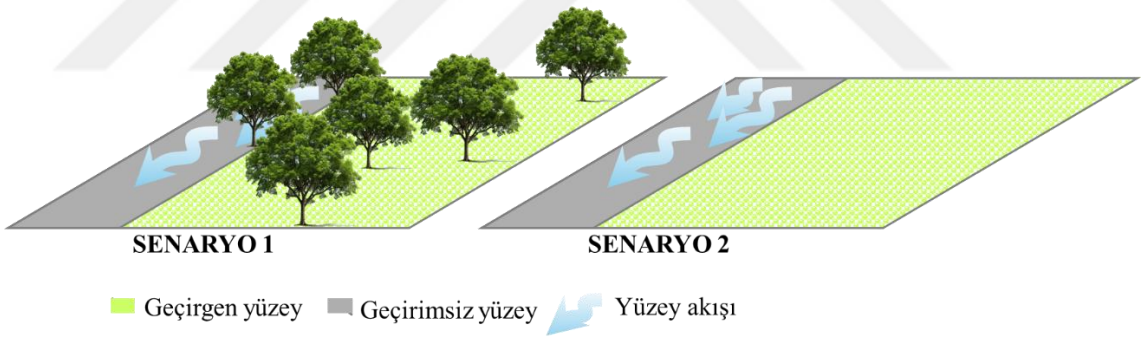
$$\text{Para Değeri(TL)} = \text{Giderilen kirletici (ton)} \times \text{Birim zarar maliyeti(TL/ton)} \tag{2.24}$$

2.6.4. Önlenen yüzey akışı

Yıllık önlenen yüzey akışı, bitki örtüsü tarafından yağmurun tutulması esas alınarak hesaplanır. Özellikle bitki örtüsü olan ve olmayan durumlardaki yıllık akış arasındaki fark esas alınır. Ağaç yaprakları, dalları ve kabukları yağışı tutarak azaltabilse de analizde sadece yapraklar tarafından tutulan yağış dikkate alınmaktadır (Hirabayashi 2013).

i-Tree Eco'da yıllık önlenen yüzey akışı hesaplanırken, model yağışın alana eşit dağıldığını, bir kısmının bitki örtüsüyle kaplı alana, bir kısmının ise zemin alanına düştüğünü varsayar. Bitki örtüsüne düşen yağışın bir kısmı yapraklar tarafından tutulur ve geri kalanı kanopi altındaki zemine ulaşır. Yapraklar tarafından tutulan yağışın bir kısmı buharlaşarak atmosfere karışır, geri kalanı ise yaprakların maksimum su depolama kapasitesini aştığında yere düşer. Zemine ulaşan yağış (doğrudan ve/veya kanopi yoluyla) kısmen zemindeki birikintiler (yaprak, dal vs.) tarafından tutulur. Geri kalanı geçirgen örtünün zeminine sızar veya geçirimsiz örtü üzerinden akar. Geçirimsiz örtü üzerindeki bu yüzey akışı yağmur suyunun akışına katkıda bulunur (Hirabayashi 2013).

i-Tree Eco'da yağmur suyu tutulumu hesaplanırken 2 senaryo temel alınır. İlk senaryoda gerçek olan yani var olan bitki örtüsü üzerinden, ikinci senaryoda ise varsayımsal, yani aynı alanın hiç bitki örtüsünün olmadığını varsayarak hesaplama yapılır (Şekil 2.3).

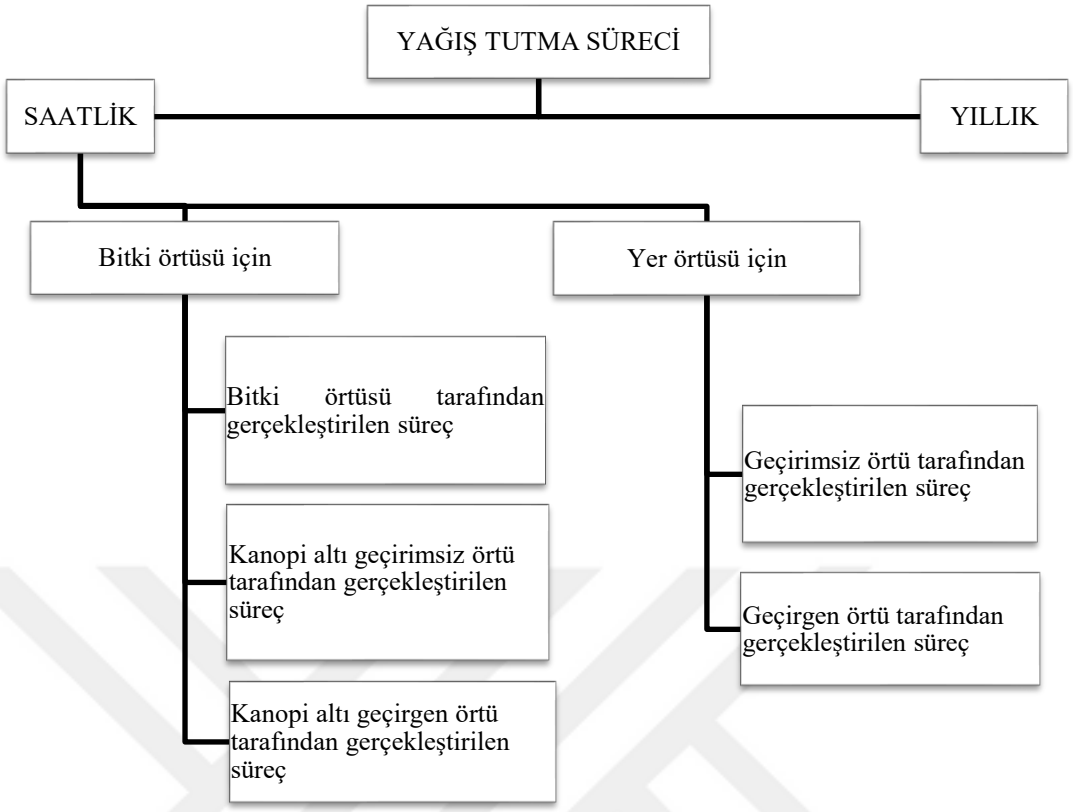


Şekil 2.3. Önlenen yüzey akışı hesabında temel alınan senaryolar

Her iki senaryoda da önce saatlik yağış tutma süreçleri, sonra toplam yıllık yüzey akış hacmi hesaplanır. İki senaryo arası yüzey akış farkı alınarak bitki örtüsünün yüzey akışını azaltmadaki etkisi, net önlenen akış olarak belirlenmektedir (Hirabayashi 2013):

$$\text{Net önlenen akış} = \text{Varsayımsal senaryo yüzey akışı} - \text{gerçek senaryo} \quad (2.25)$$

Yağış tutmanın parasal değeri, net önlenen akışa eşitlenmiştir. Yağış tutma süreci saatlik ve yıllık olarak 2 ana aşamadan oluşmaktadır. Saatlik yağış tutma ise bitki örtüsü ve zemin yüzeyi olmak üzere iki ayrı şekilde hesaplanmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. i-Tree Eco'da yağış tutma sürecinin şeması

2.6.4.1. Saatlik yağış tutma süreci

Bitki örtüsü için saatlik yağış tutma süreci

a. Bitki örtüsü tarafından gerçekleştirilen süreç

Bitki örtüsü tarafından yağışın tutulması 3 aşamada gerçekleştirilir.

1.aşama: Bir yağış olayı başladığında başlar ve kanopi depolama kapasitesi dolduğunda sona erer. Yağış (P) kanopiye yani taç alanına düşen yağış (P_c) ve (P_t) kanopiye temas etmeden yere ulaşan kanopi dışı yağış olmak üzere ikiye ayrılır. Taç alanına düşen yağışta bitki örtüsünde depolanan yağış (S_v) ve havaya buharlaşan yağış (E_v) olmak üzere ikiye ayrılır (Hirabayashi 2013).

t zamanındaki saatlik bitki örtüsü depolaması, S_{vt} [m/hr] olarak hesaplanmaktadır:

$$Sv_t = Sv_{t-1} + Pc_t - Ev_{t-1} \quad (2.26)$$

*Sv_t maksimum su depolaması olan Sv_{max} ile sınırlandırılmıştır.

*Sv_t<0 ise Sv_t=0 olarak alınır.

*$Sv_t \geq Sv_{max}$ ise $Sv_t = Sv_{max}$ olarak alınır ve 1. Aşama sona erer.

Pc_t: t zamanında taç alanına düşen ve orda depolanan yağış [m/hr]

$$Pc_t = P_t - Pt_t \quad (2.27)$$

Pt_t: t zamanında taç alanından geçen yağış [m/hr]:

$$Pt_t = P_t(1 - c) \quad (2.28)$$

*t zamanında yere ulaşan yağış miktarı Pt_t[m] değerine eşittir.

c: LAI ile ilişkili kanopi örtüsü oranı

$$c = 1 - e^{-k_t LAI} \quad (2.29)$$

k_t: ışık sönüm katsayısı (ağaçlar için 0,7 ve çalılar için 0,3) (Wang vd. 2008).

Ev_t :t zamanında bitki örtüsünden saatlik buharlaşma [m/hr]

$$Ev_t = (\frac{Sv_t}{Sv_{max}})^{2/3} \times PE_t \quad (2.30)$$

Sv_{max}: Maksimum su depolaması

$$Sv_{max} = S_L \times LAI \quad (2.31)$$

S_L: spesifik yaprak su depolaması (=0,0002 [m])

LAI: yaprak alanı indeksi

PE_t: t zamanındaki potansiyel buharlaşma [m/hr]

i-Tree Eco modelinde, PE_T (potansiyel buharlaşma) değeri hava işleyici (weather pre-processor) tarafından saatlik olarak otomatik hesaplanır. Bu hesaplama, fiziksel olarak modifiye edilmiş Penman-Monteith denklemi kullanılarak yapılır (Shuttleworth 1992; Hirabayashi, 2015):

$$PE_t = \frac{1}{\lambda \times p_w}\left[\frac{\Delta \times R_n + \frac{P_a \times C_P \times D}{r_a}}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}\right] \times 3600 \quad (2.32)$$

λ: gizli buharlaşma ısısı ($= 2.501 - 0.0023617 \times T$) [MJ/kg]

T: hava sıcaklığı [^oC]

P_W: suyun yoğunluğu ($= -0.0051 \times T^2 + 0.018 \times T + 999.88$) [$kg/m^3$]

Δ: Doygun buhar basıncı eğimi $\left(= \frac{4098 \times e_s}{(273.3+T)^2}\right)$ [kPa/^{o}C]

R_n:Net radyasyon [J/m^{2}h]

P_a: Havanın yoğunluğu $\left(= 3.486 \times \frac{PY}{275+T}\right)$ [kg /m^3]

PY: Yüzey basıncı$\left(= 101.3 \times \left(\frac{293 - 0.0065 \times Z}{293}\right)^{5.26}\right)$ [kPa]

Z: rakım (m)

Cp: Nemli havanın özgül ısısı$(= 0{,}001013)$ [MJ/kg/ ^{o}C]

D: Buhar basıncı açığı $(= e_s - e)$ [kPa]

e_s: doymuş buhar basıncı$\left(= 0.6108 \times exp\left(\frac{17.27 \times T}{237.3+T}\right)\right)$[kPa]

e: buhar basıncı$\left(= 0.6108 \times exp\left(\frac{17.27 \times DT}{237.3+DT}\right)\right)$[kPa]

DT: çiğ noktası$\left(= \frac{237.3 \times \left(\left(\ln\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.27 \times T}{237.3+T}\right)}{237.3 - \left(\left(\ln\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.27 \times T}{237.3+T}\right)}\right)$ [^{o}C]

ϒ: Hava basıncı ve sıcaklığa bağlı psikrometrik sabit $\left(= \frac{PC_P}{\lambda}\right)$ [kPa/^{o}C]

r_s: stoma direnci $\left(= \frac{200}{LAI}\right)$ [s/m]

LAI: (yaprak indeks alanı)

r_a: aerodinamik direnç $\left(= \frac{208}{U_t}\right)$ [s/m]

z_t: ağaçlar için rüzgar tahmin yüksekliği (=7 [m])

z_{ov}: kütle aktarım katsayısı (=0.0123[m])

d_t: ağaç için pürüzlülük yüksekliği (=0,95[m])

u_t: ağaç tepesindeki rüzgar hızı$\left(= u \frac{\ln \frac{z_t}{d_w}}{\ln \frac{z_u}{d_w}}\right)$ [m/s]

u: ölçülen rüzgar hızı [m/s]

z_u: rüzgar ölçüm yüksekliği (=10 [m])

d_w: su için pürüzlülük yüksekliği (=0.00137 [m])

2.aşama: Kanopi depolama kapasitesinin dolduğu ve sonraki tüm yağışların yere ulaştığı süreyi ifade eder. Bu aşama kanopiye yani taç alanına düşen yağış (P_c) 1. aşamada olduğu gibi depolanmaz. Depolama kapasitesine ulaşıldığından kanopiden damlar (D) ve aşama boyunca depolanan sudan buharlaşma meydana gelir.

Burada Sv_t 2.26 denklemi ile hesaplanır ve Sv_{max} elde edilir. Pc_t, Pt_t ve Ev_t sırasıyla 2.27, 2.28 ve 2.30. denklem ile hesaplanır. Bu aşamada ilk kez $Sv_{t-1}<Svmax$ olur. Bu aşamada 1. Aşamadan farklı olarak kanopiden gerçekleşen damlama (D_t) yer almaktadır.

t zamanında kanopi damlaması (D_t) [m] hesabı:

$$D_t = Pc_t - (Sv_{max} - Sv_{t-1}) - Ev_t \quad (2.33)$$

*t zamanında yere ulaşan yağış miktarı Dt ve Pt_t'nin toplamına eşittir.

3.aşama: Yağış durduğunda tutulan yağmur suyu kurumaya başladığında başlar. Bu aşamada bitki örtüsünden sadece buharlaşma meydana gelir ve bu da denklem 2.30 ile hesaplanabilir.

b. Kanopi altı geçirimsiz örtü tarafından gerçekleştirilen süreç

Bitki örtüsü tarafından tutulan yağışla (Sv_i) birlikte, t zamanında kanopi yağışının (P_t) ve kanopi damlamasının (D_t) toplamı yere ulaşır. Bununla beraber "Bitki örtüsü tarafından gerçekleştirilen süreç" bölümündeki 3 aşama burada da kullanılmaktadır.

1.aşama: t zamanındaki geçirimsiz örtü depolaması (Svi_t)[m/hr] hesabı:

$$Svi_t = Svi_{t-1} + (Pt_t + D_t) - Evi_{t-1} \quad (2.34)$$

Svi_t <0 ise Svi_t=0 olarak alınır.

$Svi_t \geq Si_{max}$ ise $Si_{max}= Svi_t$ olarak alınır ve 1. Aşama sona erer.

Si_{max} geçirimsiz yüzeyler için sabittir ve 0,0015 m'e eşittir.

t zamanında geçirimsiz örtüden buharlaşma (Evi_t) [m/hr] hesabı:

$$Evi_t = \left(\frac{Svi_t}{Si_{max}}\right) \times PEg_t \quad (2.35)$$

PEg_t: t zamanındaki potansiyel yer buharlaşması için denklem 2.32' teki PE_t formülü kullanılır ancak formülde zemine özgü $r_a \left(= \frac{4.72 \times \left[\ln\left(\frac{Z_u}{Z_{ov} \times d_w}\right)\right]^2}{1+0.536 \times U_g}\right)$ [m/hr] uygulanır.

Z_u : rüzgâr ölçüm yüksekliği (2m)

Z_{ov} : kütle transfer katsayısı (= 0.0123 m)

d_w : su için pürüzlülük yüksekliği (0.00137 m)

U_g : zemindeki rüzgâr hızı$\left(= U \times \frac{\ln\left(\frac{Z_g}{d_w}\right)}{\ln\left(\frac{Z_u}{d_w}\right)} \right)$ [m/s]

U: istasyonda ölçülen rüzgar hızı

Z_g : yer için rüzgar tahmin yüksekliği $(= 0.1 + d_w)$

t zamanındaki karasal yüzey akışı (Rv_t)[m/hr] hesabı:

$$Rv_t = (Pt_t + D_t) - (Si_{max} - Svi_{t-1}) - Evi_t \quad (2.36)$$

2.aşama: t zamanındaki geçirimsiz örtü depolaması (Svi_t) denklem 2.34 ile hesaplanır, Si_{max} ile sonuçlanır. Buharlaşma (Evi_t) denklem 2.35 ile hesaplanır.

Yüzey akışı (Rv_t) [m/hr] ise:

$$Rv_t = (Pt_t + D_t) - Evi_t \quad (2.37)$$

3.aşama: Buharlaşma (Evi_t) denklem 2.35 ile hesaplanır.

c. Kanopi altı geçirgen örtü tarafından gerçekleştirilen süreç

"Bitki örtüsü tarafından gerçekleştirilen süreç" bölümündeki 3 aşama burada da kullanılmaktadır.

1.aşama: t zamanındaki geçirgen örtü depolaması (Svp_t) [m/hr] hesabı:

$$Svp_t = Svp_{t-1} + (Pt_t + D_t) - Evp_{t-1} \quad (2.38)$$

$Svp_t < 0$ ise $Svp_t = 0$ olarak alınır.

$Svp_t \geq Sp_{max}$ ise $Sp_{max} = Svp_t$ olarak alınır ve 1. Aşama sona erer.

Sp_{max} sabit ve 0,001 m'dir.

t zamanında geçirgen örtüden buharlaşma (Evp_t) [m/hr] hesabı:

$$Evp_t = \left(\frac{Svp_t}{Sp_{max}}\right) \times PEg_t \quad (2.39)$$

t zamanındaki infiltrasyon (Iv_t) hesabı:

$$Iv_t = (Pt_t + D_t) - (Sp_{max} - Svp_{t-1}) - Evp_t \quad (2.40)$$

2.aşama: t zamanındaki geçirgen örtü depolaması (Svp_t) denklem 2.38 ile hesaplanır ve Sp_{max} ile sonuçlanır. Buharlaşma (Evp_t) denklem 2.39 ile ve t zamanındaki infiltrasyon (Iv_t) [m/hr] ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Iv_t = (Pt_t + D_t) - Evp_t \quad (2.41)$$

3.aşama:t zamanında geçirgen örtüden buharlaşma (Evp_t) denklem 2.39 ile hesaplanır.

Yer örtüsü için saatlik yağış tutma süreci

a. Geçirimsiz örtü tarafından gerçekleştirilen süreç

1.aşama: t zamanında geçirimsiz örtünün su depolama (Sgi_t) [m/hr] hesabı:

$$Sgi_t = Sgi_{t-1} + P_t - Egi_{t-1} \quad (2.42)$$

$Sgi_t < 0$ ise $Sgi_t = 0$ olarak alınır.

$Sgi_t \geq Si_{max}$ ise $Si_{max} = Sgi_t$ olarak alınır ve 1. Aşama sona erer.

Si_{max} sabit ve 0,0015 m'dir.

t zamanında geçirimsiz örtüden buharlaşma (Egi_t) [m/hr] hesabı:

$$Egi_t = \left(\frac{Sgi_t}{Si_{max}}\right) \times PEg_t \quad (2.43)$$

t zamanında karasal yüzey akışı (Rg_t) [m/hr] hesabı:

$$Rg_t = P_t - (Si_{max} - Sgi_{t-1}) - Egi_t \quad (2.44)$$

2.aşama: t zamanındaki geçirimsiz örtü depolaması (Sgit) denklem 2.42 ile hesaplanır ve Si_{max} ile sonuçlanır. Buharlaşma (Egi_t) denklem 2.43 ile hesaplanır. t zamanındaki yüzeysel akış (Rg_t) ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$Rg_t = P_t - Egi_t \quad (2.45)$$

3.aşama: Buharlaşma (Egi_t) Denklem 2.43 ile hesaplanır.

b. Geçirgen örtü tarafından gerçekleştirilen süreç

1.aşama: t zamanında geçirgen örtünün su depolama (Sgp_t) hesabı:

$$Sgp_t = Sgp_{t-1} + P_t - Egp_{t-1} \quad (2.46)$$

$Sgp_t < 0$ ise $Sgp_t = 0$ olarak alınır.

$Sgp_t \geq Sp_{max}$ ise $Sp_{max} = Sgp_t$ olarak alınır ve 1. Aşama sona erer.

Sp_{max} sabit ve 0,001 m'dir.

t zamanında geçirgen örtüden buharlaşma (Egp_t) hesabı:

$$Egp_t = \left(\frac{Sgp_t}{Sp_{max}}\right) \times PEg_t \quad (2.47)$$

t zamanında infiltrasyon hesabı:

$$Ig_t = P_t - (Sp_{max} - Sgp_{t-1}) - Egp_t \quad (2.48)$$

2.aşama: t zamanındaki geçirgen örtü depolaması (Sgp_t) denklem 2.46 ile hesaplanır. ve Sp_{max} ile sonuçlanır. Buharlaşma (Egpt) denklem 2.47 ile hesaplanır. İnfiltrasyon (Ig_t) ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Ig_t = P_t - Egp_t \quad (2.49)$$

3.aşama: Buharlaşma (Egp_t) denklem 2.47 ile hesaplanır.

2.6.4.2. Yıllık yağış tutma süreci

Yıllık önlenen yüzey akışının hesaplanmasında, saatlik yüzey akışı modeli iki senaryo için çalıştırılır:

1) incelenen alanın kısmen bitki örtüsüyle kaplı, geri kalan kısmının ise geçirimsiz veya geçirgen zemin örtüsüyle kaplı olduğu gerçek senaryo (Şekil 2.5).

2) aynı incelenen alanın hiç bitki örtüsüyle kaplı olmadığı ve geçirimsiz veya geçirgen zemin örtüsüne sahip olduğu varsayımsal senaryo (Şekil 2.6).

Senaryo 1'deki saatlik yüzey akışı, kanopi altındaki ve dışındaki geçirimsiz örtüden gelen akışın toplamıdır, ancak senaryo 2'de akış, geçirimsiz örtüden gelen yani saatlik yağışın akışıdır. Saatlik önlenen yüzey akış süreçleri derinlik (m) cinsinden tanımlanırken yıllık süreçlerde alanlar dikkate alınarak hacimlere (m^3) dönüştürülebilirler.

Yıllık yüzey akış hacmi, her iki senaryo için saatlik akışın geçirimsiz örtü alanlarıyla çarpılmasının toplamı olarak hesaplanır. Genel olarak, yağış suyunu kesen, depolayan ve buharlaştıran bitki örtüsünün etkisi nedeniyle, gerçek senaryo varsayımsal senaryoya göre daha az yıllık yüzey akışı üretir. İki senaryo arasındaki yüzey akışı farkı alınarak, yüzey akışını azaltmada bitki örtüsünün etkisi, net önlenen akış olarak belirlenir. Bu nedenle, yıllık önlenen akış, S (m^3) şu şekilde hesaplanabilir (Hirabayashi 2013):

$$S = Rh_{total} - (Rv_{total} + Rg_{total}) \quad (2.50)$$

Rh_{total} (m^3): Varsayımsal zeminin geçirimsiz örtüsünden kaynaklı akış

$$Rh_{total} = \sum Rg_t \times A \quad (2.51)$$

Bitki örtüsü ile kaplı alanda, geçirimsiz örtüden kaynaklı toplam akış (Rv_{total}):

$$Rv_{total} = \sum Rv_t \times VA \quad (2.52)$$

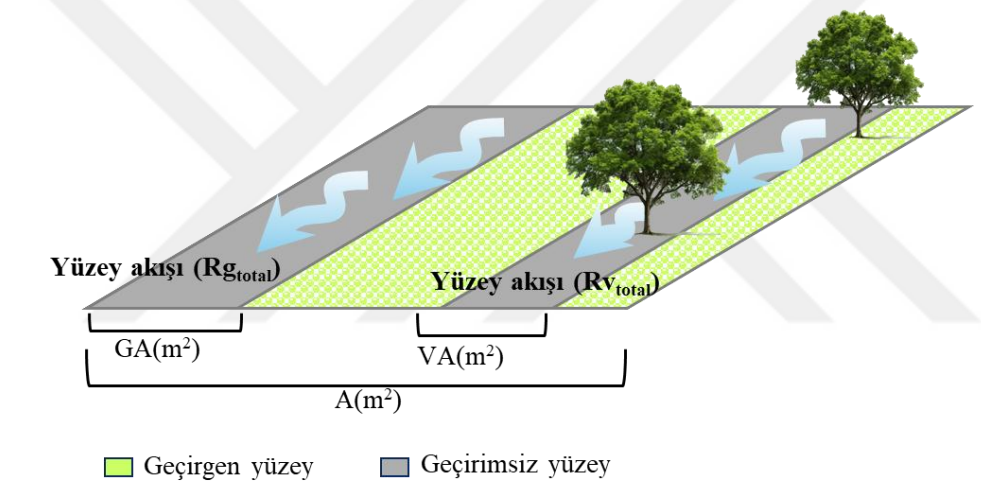
Bitki örtüsüz alanda geçirimsiz örtüden kaynaklı toplam akış (Rg_{total}) :

$$Rg_{total} = \sum Rg_t \times GA \quad (2.53)$$

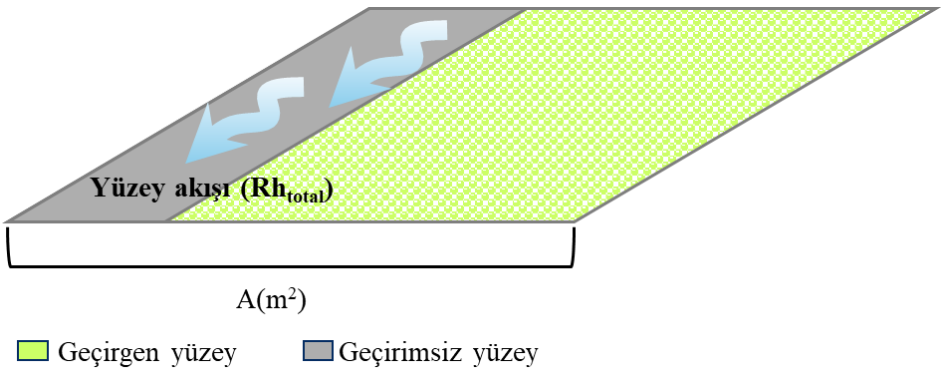
A = senaryo 2'deki tüm alan (m^2)

VA = senaryo 1'deki kabopi altındaki geçirimsiz kaplama (m^2)

GA = senaryo 1'deki kanopi dışındaki geçirimsiz kaplama (m^2)



Şekil 2.5. Gerçek senaryo örneği (Senaryo 1)



Şekil 2.6. Varsayımsal senaryo örneği (Senaryo 2)

Yıllık önlenen akışın parasal değeri hesaplanırken net önlenen akış (S) ile m^3 başına birim para değer çarpılır:

$$\text{Önlenen akış parasal değeri} = S \times \text{birim para değeri } (m^3 \text{ başına}) \quad (2.54)$$

2.7. Önceki Çalışmalar

2.7.1. Ulusal çalışmalar

Hepcan ve Hepcan (2017) Ege Üniversitesi lojmanlar yerleşkesinde 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 modeli kullanılmıştır. Araştırma alanının arazi örtüsü ağaç ve çalı, cim, geçirimsiz yapı, acık alan (üzerinde bitki örtüsü bulunmayan toprak yüzey) ve yüzey örtücü bitki (otsu bitki vejetasyonuyla kaplı alanlar) olmak üzere beş sınıf altında gruplandırılmıştır. Taç örtüsünün hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem servisleri kapsamında sağladığı yararlar hesaplanmıştır. Sonuçlar yüzde 48'i taç örtüsüyle kaplı olan 54,47 ha büyüklüğündeki lojmanlar yerleşkesinin bir yılda 321,57 ton CO_2 yakaladığı ve 8.107,86 ton CO_2 depoladığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra bitki taç örtüsünce bir yılda atmosferden 28,70 kg Karbon monoksit (CO), 143,85 kg Nitrojen dioksit (NO_2), 1,58 ton Ozon (O_3), 90,6 kg Kükürt dioksit (SO_2), 69,61 kg $PM_{2.5}$ ve 479,90 kg PM_{10} 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.

Selim ve Atabey (2020) Antalya ili Konyaaltı ilçesinde yer alan Atatürk Bulvarı ağaçlarının kente sağladığı faydaların, işlevlerin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada i-Tree Eco yazılımını kullanmışlardır. 9 türe ait 388 ağaçta yapılan envanter çalışmasına göre bu ağaçların yıllık toplamda 48,5 ton/yıl karbon depoladığı, 1.707 kg oksijen ürettiği ve 114,2302 m^3 yüzeysel su akışını engellediği tahmin edilmiştir. En fazla karbon tutumu *Robinia pseudoacacia*, en fazla oksijen üreten *Ficus retusa* 'Nitida' ve en fazla yüzeysel akışta engelleme yapan *Phoenix dactylifera* olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma ile ağaçların kent ekosistemine ve kent içerisinde yaşayan insanlara sağladığı katkılar somutlaştırılmıştır.

Kaçmaz Akkurt vd (2022) Burdur şehir merkezindeki 6 ana caddede kentsel yol ağaçlarının ekosistem hizmetlerini ne düzeyde sağladığı üzerine bir çalışma yapmışlardır. i-Tree Eco'nun kullanıldığı çalışmada 15 farklı aileden 32 farklı türe ait 588 adet cadde ağacında yapılan ölçümler sonucunda Burdur il merkezindeki ağaçların yılda 25,34 kg uçucu organik bileşik (VOC) yaydığı, 34,44 metrik ton O_2 ürettiği, 66,79

kilogram hava kirliliğini ortadan kaldırdığı, yaklaşık 12,92 metrik ton karbon tuttuğu ve yıllık 52 m^3 yüzey akışını azaltmaya yardımcı oldukları belirlenmiştir. Olgun ağaçların ekosistem hizmeti sağlamada en iyi performans gösterdiği, şehirlerdeki cadde ağaçlarının tür seçiminde ekosistem hizmetlerine katkılarının dikkate alınmasının önemli olduğu çalışmadan elde edilen diğer bulgulardır.

Selim vd. (2023) örnekleme noktası atamasına dayalı olarak çalışan i-Tree Canopy aracında belirlenmesi gereken optimum örnekleme noktası sayısı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, karşılaştırma için referans veriler oluşturulmuştur. Daha sonra, 3.100'e kadar 100 puanlık artışlarla 31 adet i-Tree Canopy raporu oluşturulmuş ve raporlardan elde edilen veriler referans verilerle karşılaştırılmıştır. Gauss ve ikinci dereceden bir polinom uyumuna dayalı istatistiksel analiz yapılmış ve sonuç olarak 1 hektarlık bir alan için optimum örnek nokta sayısının 760 ± 32 olduğunu ve 800'den fazla örnek nokta almanın istatistiksel olarak anlamlı olmayacağı elde edilmiştir.

Tonyaloğlu (2023) Aydın Adnan Menderes Üniversitesi merkez kampüsü ağaçlarının sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetlerini incelediği çalışmasında i-Tree Canopy aracını kullanmıştır. Çalışmada üniversite kampüslerinde yer alan ağaç örtüsünün sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetleri ve bunlara ilişkin parasal değerler Aydın Adnan Menderes Üniversitesi merkez kampüsü örneği üzerinden analiz edilmiştir. Web tabanlı i-Tree Canopy uygulaması kullanılarak 7 arazi örtüsü tipi (ağaç ve çalı örtüsü, otsu bitkiler, geçirimsiz bina yüzeyleri, geçirimsiz yollar, diğer geçirimsiz yüzeyler, açık alanlar ve su yüzeylerinden oluşmaktadır) ve alansal dağılımları rastgele 2.160 nokta üzerinden değerlendirilmiştir. Yaklaşık 89 ha büyüklüğündeki çalışma alanında % 12,73 orana sahip ağaç taç örtüsünün havadan toplam 771,52 kg gaz ve partikül kirletici uzaklaştırdığı, 34,98 ton karbon yakaladığı ve 878,44 ton karbon depoladığı tespit edilmiştir. Bu hizmetlerin toplam ekonomik değeri ise 303.537 $ olarak tahmin edilmiştir.

Üstün Topal ve Demirel (2023) tarafından İstanbul'un Üsküdar ilçesi sınırları içinde yer alan 150 ha büyüklüğündeki Kuzguncuk Mahallesi'nde hava kalitesini iyileştirmeye yönelik düzenleyici ekosistem hizmetleri değerlendirilmesi i-Tree Canopy aracı kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak, mahallede % 46 oranına sahip ağaç örtüsünün yıllık 855,93 ton CO_2 tuttuğunu ve 21.495,71 ton CO_2 depoladığını ve ayrıca bir yılda atmosferden 69,94 kg CO, 381,39 kg NO_2, 3.798,45 kg O_3, 240,34 kg SO_2, 184,57 kg $PM_{2.5}$ ve 1.272,34 kg PM_{10} partikül maddeyi uzaklaştırdığını hesaplanmıştır. Bu uzaklaştırmanın sağladığı ekonomik katkının yıllık 2.251 $ olduğu hesaplanmıştır. Çalışma, kentsel alanlarda ekosistem hizmetleri çalışmalarında yeşil alanların ekolojik ve ekonomik önemini, bitki örtüsünün sağladığı ekosistem hizmetlerini belirlemede mahalle ölçeğini dikkate alarak ortaya koymaktadır.

Malkoç (2024) Edirne Merkez ilçesinin merkezi mahallelerde kent ağaçlarının hava kirleticilerini giderme ve karbon tutma yeteneklerine odaklanarak, web tabanlı i-Tree Canopy ile bu ağaçların sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetlerini 18 yıllık bir dönemi kaplayacak şekilde değerlendirmiştir. Sonuçlar, merkezi mahallelerde ağaç örtüsünde önemli bir azalma olduğunu ve bunun da hava kirliliğinin giderilmesinde (2005'te 6.976 kg'a karşılık 2023'te 5.242 kg) ve karbon tutulmasında (2005'te 241 ton/yıl'a karşılık 2023'te 181 ton/yıl) azalmaya yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca web

tabanlı araçların kullanılmasının, diğer şehirlerde de tekrarlanabilen ve kapsamlı analizlerin yetersiz veri, zaman ve kaynak kısıtlamaları nedeniyle sınırlı olduğu durumlarda faydalı olan, düzenleyici ekosistem hizmetlerini değerlendirmek için hızlı ve kolay bir coğrafi çözüm sağladığını göstermiştir.

Kurt Konakoğlu (2025) Amasya ilinin Suluova ilçesinde toplam 24.812,51 m²'lik bir alanı kapsayan Adnan Menderes Darı Bahçesi ve Engelliler İçin Yaşam Parkı'ndaki kentsel ağaçların ekosistem hizmetleri açısından karbon tutma kapasitelerini değerlendirmiştir. Bu amaçla, 2452 rastgele örnekleme noktası temel alınarak i-Tree Canopy yazılımı kullanılarak bir analiz yapılmıştır. Çalışma sonucunda yaklaşık % 20 ağaçlarla kaplı alanda yıllık 37,48 ton CO_2 tutulumu, 1,49 ton karbon tutulumu ve 18.000 $ tutarında hava kirletici giderimi olduğu bulunmuştur.

2.7.2. Uluslararası çalışmalar

McPherson ve Simpson (2003)'ın California'da ağaçların binalardaki enerji tasarrufuna sağladığı katkı üzerine yaptığı çalışma i-Tree enerji hesaplama yaklaşımının temel kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Hava fotoğraflarından elde edilen ağaç örtüsü verileri ve bina enerji simülasyonları kullanılmıştır. Kaliforniya'daki yerleşim yerlerinde yaklaşık 177,3 milyon ağacın yıllık klima enerji kullanımını % 2,5 oranında azaltacağı, mevcut ağaçların tepe yük azaltımı, elektrik şirketlerine yıllık yaklaşık 778,5 milyon $ değerinde % 10 tasarruf sağlamakta olduğu ve konut binalarının doğu ve batı duvarlarını gölgelemek için 50 milyon ağaç dikilmesinin, 15 yıllık bir dönemde soğutmayı % 1,1 ve tepe yük talebini % 4,5 oranında azaltacağı tahmin edilmiştir. 15 yıllık dönem için yıllık soğutma azaltımının mevcut toptan satış değeri 3,6 milyar $ (dikilen ağaç başına 71 $) olup, toplam dikim ve bakım maliyetlerinin 2,5 milyar $ (ağaç başına 50 $) olduğu varsayıldığında, tepe yük azaltımının maliyeti kW başına 63 $ olup, maliyet etkinliği için belirlenen 150 $/kW'lık kıyaslama değerinden oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Andrew ve Slater (2014) Birleşik Krallık'ta ağaçların sunduğu ekosistem hizmetlerini araştırmışlardır. İ-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, konut bahçelerindeki ağaçların boyut olarak sınırlandırıldığı iki durum düşünülerek ağaçların kirleticileri yok etme oranları hesaplanmıştır. Müstakil bahçe ağaçlarındaki boyut küçültmenin ağaç popülasyonundan elde edilen faydalarda önemli düşüşe neden olduğu saptanmıştır. 10 yıl süresince, serbest olarak büyümeye bırakılan ağaçların, mevcut durumda ağaçlar tarafından uzaklaştırılan kirleticilerin yıllık % 149'unu ortadan kaldırdığı, taç büyümesi kısıtlanan ağaçların mevcut durumda ağaçlar tarafından uzaklaştırılan kirleticilerin sadece % 88'ini ortadan kaldırabildiği belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, konut sahiplerinin bahçelerindeki ağaçların boyutuna müdahale etmelerinin kent ölçeğinde neden olacağı potansiyel ekonomik kaybı ortaya koymuştur. Yıllık olarak atmosferden alınan kirletici seviyeleri için parasal değerler, mevcut ağaç popülasyonu için i-Tree Eco tarafından yılda 119 £ (İngiliz sterlini), 2024'te budanmamış ağaçlar için yılda 169 £ ve budanmış ağaçlar için yılda 109 £ olarak hesaplanmıştır.

Morani vd. (2014), Roma yakınlarındaki kentsel bir Akdeniz ormanında i-

Tree modelinden elde edilen ozon akısı tahminleri, Eddy Kovaryans tekniği (kuru çökelme) kullanılarak yapılan ozon akısı ölçümleriyle karşılaştırmışlardır. Özellikle tüm ölçüm dönemi boyunca kümülatif değerler dikkate alındığında, tahmin edilen ve ölçülen ozon akıları arasında genel olarak iyi bir uyum olduğu görülmüştür. i-Tree'nin O_3 giderme tahminlerinin LAI (Yaprak Alanı İndeksi) ve meteorolojik değişkenlere duyarlılığına ilişkin testler, birikme hızının (Vd) sıcaklık ve LAI'ye duyarlı olduğunu, fotosentetik aktif radyasyonun (PAR) ve rüzgar hızının ise Vd üzerinde sınırlı etkileri olduğunu ortaya koymuştur. i-Tree, stomatal ve stomatal olmayan uzaklaştırmayı ayırt etmeden toplam O_3 akışını tahmin etse de bu çalışma stomatal iletkenlik hesaplamasında yer alan belirli parametrelere (Vc_{max} , J_{max} ve m) ilişkin modelin duyarlılık analizi, Vc_{max} ve J_{max}'taki varyasyonlardan ziyade m katsayısındaki değişikliklere daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Gözlemlenen ve modellenen veriler arasındaki en iyi uyum, aşırı tahminin % 16,95'e eşit olduğu sıcak günlerde m = 3 ile ve aşırı tahminin % 0,68'e eşit olduğu soğuk günlerde m = 6,49 ile elde edilmiştir.

Raum vd. (2019) i-Tree Eco yazılımının Britanya'da kullanımını değerlendirmek üzere bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucu, 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 süreçlerine aktarılabileceği sekiz olası alan belirlenmiştir:

1. **Problemi netleştirme:** Net bir amaç belirlenmesi ve potansiyel kullanıcılarla yönetim, politika ve kapasitede istenen değişikliklerle ilgili ortak bir vizyon oluşturulmasını içerir.

2. **Yönetim:** Kullanıcılar ve diğer bilgi aracılarının rol ve sorumluluklarının anlaşılmasını içerir.

3. **Girdiler:** Analiz, raporlama, katılım ve yaygınlaştırma için gereken kaynaklar konusunda gerçekçi olunması gerektiği vurgulanır.

4. **Çıktılar:** Çıktıların kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamasının önemini vurgulanır. (örneğin mevcut politika gündemleri)

5. **Etkileşim:** Değerlendirmenin birlikte geliştirilmesi, üretilmesi ve çıktıların dağıtılması sırasında paydaş katılımının gereklilik ve öneminden bahsedilir.

6. **Yaygınlaştırma:** Proje çıktılarının formatını ilgili her bir izleyici kitlesine uygun şekilde uyarlanmasından bahsedilir.

7. **Kullanıcılar:** Proje ve bulguların tanıtımının, gayri resmi veya resmi kullanıcı grupları aracılığıyla yapılması gerekliliği vurgulanır.

8. **Bağlam:** Yeniden yapılanmalar, kamu sektörü bütçe kesintileri, personel değişimi ve önceliklerdeki değişiklikler gibi beklenmedik faktörlere hazırlıklı

olunması gerektiği ve olabildiğince hızlı dönüş sağlayarak durumu kontrol altına alma gerekliliğinden bahsedilir.

Wu vd. (2019) Çin'de kentsel bitki örtüsünün hava kalitesinin iyileştirilmesine etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada bitki örtüsüne ilişkin bir zamansal-mekansal çökelme modeli i-Tree Eco yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar kentsel bitki örtüsünün partikül madde ($PM_{2.5}$) azaltımının 1000 tonu aştığını ve bitki örtüsü ile ortamdan uzaklaştırma miktarının yılda m^2 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. Vejetasyon 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 çalışmasında 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^3 yağmur suyu depoladığı ve bunların maliyetlerinin sırasıyla yıllık 32.600 avro (€), 5.560 € ve 21.800 € olduğu belirlenmiştir.

Lin vd (2020) i-Tree Eco'nun duyarlılık analizini (SA) gerçekleştirerek, farklı model girdilerinin biyojenik uçucu organik bileşik (BVOC) (izopren ve monoterpenler) emisyonları, karbon depolama-tutma ve azot dioksit, kükürt dioksit, ozonun kuru çökelmesi olmak üzere üç modül çıktısı üzerindeki göreceli etkisini analiz etmişlerdir. New York'ta 2013 yılında toplanan saha verileriyle bir vaka çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak bitki cinsinin, BVOC emisyonları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu ve BVOC emisyonlarının içbükey bir şekilde yaprak biyokütlesine ve dışbükey bir şekilde sıcaklığa duyarlı olduğu, izopren emisyonları ise fotosentetik olarak aktif radyasyon (PAR) ile güçlü bir doğrusal ilişki gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, ağaç gövde çapının hem karbon depolama hem de karbon tutma tahminleri için en önemli rolü oynadığı; taç ışığına maruz kalma ve ağaç durumunun da karbon tutma için önemli olduğu ve kuru çökelme hızı, yaprak alanı indeksi ve bağıl nem ile neredeyse doğrusal bir şekilde duyarlı iken, sıcaklık ve PAR ile içbükey bir şekilde duyarlı olduğu ulaşılan diğer sonuçlardır.

Pace vd. (2021) Napoli'deki Capodimonte Kraliyet Ormanı'nda i-Tree Eco ile modellenen $PM_{2.5}$ birikim oranlarını ve hem ağaç örtüsü (girdap kovaryans değerlendirmeleriyle) hem de yaprak ölçeğinde (vakum/filtrasyon tekniği ile taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi ölçümleri ile) yapılan Pm2.5 ölçümleri ile karşılaştırmışlardır. Modellenen ve ölçülen akışlar genel olarak iyi bir uyum göstermiştir. Sonuçlar $PM_{2.5}$ tahminleri için büyük yapraklı bir yaklaşım kullanan i-Tree Eco modelinde $PM_{2.5}$ gideriminin hesaplanması, belirli rüzgar hızlarına maruz kalan ve yağışları kesen yaprakların ayırt edilmesini sağlayan çok katmanlı bir

taç dağılımı kullanılarak iyileştirilebileceği ve model parametrelerinin duyarlılık analizi, ayarlanmış birikim hızlarıyla partikül madde birikim akışlarının daha iyi bir şekilde temsil edilebileceğini göstermiştir.

Wang vd. (2023) Çin'in kuzeydoğusundaki orman alanlarında, toplam 280.000 km²'lik orman alanını, 1275 ağaç parselini (30 m × 30 m), 5285 çalı parselini (5 m × 5 m) ve 7076 otsu bitki parselini (1 m × 1 m) kapsayan geniş ölçekli bir saha araştırması yapmışlardır. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ormanlardaki biyokütle karbon (C) depolama ve kararlılığındaki farklılıkların, ağaç, çalı ve otsu bitki katmanlarındaki yapısal farklılıklar (çap, yükseklik ve yoğunluk) ile ilişkisini araştıran çalışmada iğne yapraklı ormanların geniş yapraklı ormanlara göre daha yüksek biyokütleden kaynaklı olarak 13,1 Mg/ha daha yüksek C stokuna, ancak % 8,6 daha düşük ekosistem hizmetine sahip olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). İğne yapraklı ve geniş yapraklı ormanlar arasındaki karbon tutulumundaki varyasyonların, ağaç boyutuna bağlı yapısal farklılıkların yanı sıra mikorizal simbiyontlara ve tür çeşitliliğine atfedilebileceği vurgulanmıştır.

Zhao vd. (2023) Çin'in Changchun şehrinin merkezindeki kentsel ormanların ekolojik faydalarını karbon tutma ve oksijen salınımı, enerji tasarrufu, yağmur suyu tutma ve hava kalitesinin iyileştirilmesi açısından değerlendirmek için i-Tree Eco modeli kullanılmıştır. Şehir merkezinde yaklaşık 400 m²'lik otuz yedi dairesel örneklem alanından 1026 ağaç ve çalı bireyine ait veriler elde edilmiştir. İncelenen dört ekolojik faydaları, ekonomik faydalara dönüştürmek için, matematiksel ve istatistiksel analiz kullanılarak, farklı ağaç ve çalı oranlarına sahip kentsel ormanların maliyet-fayda ilişkisi analiz edilmiş ve farklı yerleşim tiplerine sahip kentsel ormanların etki aralığı karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre ağaç türlerinin kentsel ormanların ekolojik faydalarının ana etkileyici faktörü olduğu, şehir merkezindeki kentsel ormanların karbon tutma ve oksijen salınımı, enerji tasarrufu, yağmur suyu tutma ve hava kalitesini iyileştirme açısından mevcut ekolojik faydaları yıllık 496 milyon Çin Yuanı değerinde olup, ağaç yüzdesi 0,36'ya ayarlanırsa, ekolojik faydaların yıllık 61 milyon Çin Yuanı artabileceği bulunmuştur. Ayrıca Changchun'da yaygın olarak bulunan 20 ağaç türünün enerji tasarrufu faydasının yıllık 1657,52 Çin Yuanı, yaygın olarak bulunan 13 çalı türü, kış ısıtma döneminde bina sıcaklığının düşmesini hızlandırmış, enerji tasarrufu faydası yıllık -0,26 Çin Yuan'ı olarak bulunmuştur.

Rahman vd. (2023) yağmur suyu tutma (I), terleme (T), toprak infiltrasyonu (IR) ve ardından gelen yüzey akışındaki azalmayı araştırmak için 92 çalışmayı analiz etmişlerdir. İğne yapraklı ağaçlar daha yüksek I ve T ile yıllık ölçekte daha iyi koruma sağlarken, geniş yapraklı türler daha iyi IR sağlamıştır. Ağaç özelliklerinde yaprak alanı indeksi (LAI) hem I hem de T için olumlu bir etki göstermiştir. Her bir LAI artışı birimi için, T (% 3) ve I (% 2) yoluyla ek % 5 yağmur suyu dağılımı tahmin edilebilir. Yüzey akışını engelleme açısından ise iğne yapraklılar, geniş yapraklılardan daha etkili bulunmuştur.

Hintural vd. (2024) i-Tree Eco kullanarak, Güney Kore, Daejeon'daki Chungnam Ulusal Üniversitesi'nde bulunan ve 27 tür ile 287 ağaç bireyini içeren 10,25 hektarlık bir kentsel yeşil alanın ekosistem hizmetlerini nicelleştirmiştir. İncelenen temel düzenleyici ekosistem hizmetleri arasında hava kirliliğinin giderilmesi, karbon depolama ve tutma, oksijen üretimi, enerji kullanımının azaltılması, yüzey akışının önlenmesi ve ikame ve

fonksiyonel değerler yer almaktadır. Sonuçlar 3739,01 $ değerinde 131 kg hava kirleticisinin giderildiğini, 289,85 $ değerinde 1,76 Mg karbon tutulduğunu, 2,42 Mg oksijen üretildiğini, 391,29 $ değerinde enerji tasarrufu sağlandığını (karbon dengelemesi dahil) ve 413,09 $ değerinde 203 m^3 yüzey akışında azalma sağlandığını göstermiştir. Bu kentsel ağaçların yıllık toplam faydaları 4833,86 $ ağaç başına 16,83 $ veya kişi başına 0,089 $ olarak hesaplanmıştır. Çalışma, kentsel alanlarda ekosistem hizmetlerinin en üst düzeye çıkarılması için tür seçimi ve kentsel ağaç bolluğunun temel önem taşıdığını ve kentsel yeşil alanların şehirlerdeki ekolojik ve ekonomik sürdürülebilirlikteki rolünü vurgulamaktadır.

Sharma vd. (2024) i-Tree Eco'da ağaç envanterini uzaktan algılama ile elde etmek için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü olmadığında kullanılabilecek "nesne tabanlı görüntü analizi" temelli bir yöntem önermiştir. Bu yöntemi hem LİDAR hem de Landsat verilerinin mevcut olduğu Kaliforniya San Diego'daki Balboa Parkı'nda doğrulamış ve LİDAR verilerinin mevcut olmadığı Hindistan'ın Güney Delhi ve Chennai şehir bölgelerinde uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Önerilen yöntemle elde edilen sonuçlar, Balboa Parkı'nın Nisan 2018 tarihli mevcut ağaç envanteriyle karşılaştırılabilir niteliktedir. Karşılaştırma, yüksek çözünürlüklü sonuçlara göre ağaç sayısı, ağaç örtüsü, karbon depolama, karbon tutma ve oksijen üretiminde farklılıklar göstermiştir. Ayrıca, Hindistan'ın iki büyük şehri olan Delhi ve Chennai'de ağaçların sağladığı çevresel arz bağımsız olarak değerlendirilmiş ve ağaç envanteri mevcut olmamasına rağmen kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Kim vd. (2024) Güney Kore'nin Daejeon şehrindeki Yurim Parkı'nda karbon depolama ve tutulmasını analiz etmektedir. Çalışma, kentsel parklardaki karbon depolama ve tutulmasını ızgara bazında tahmin etmek için İ-Tree eko modeli, drone tabanlı modelleme ve yerinde incelemelerin bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Sonuçlar, geniş yapraklı ağaçların ve kapalı gölgelik örtüsünün hakim olduğu yeşil alanlara sahip ızgaralar, en yüksek karbon tutma ve depolama değerlerine sahipti. Dikim alanı oranı ve dikilen ağaç türünün, kentsel parkların birim alan başına karbon tutma kapasitesini doğrudan etkilediği bulunmuştur.

Su vd. (2025) Tayvan'da beş geniş yapraklı ağaç türü, üç kentsel alan ve beş zaman diliminde yaprak yüzeyindeki $PM_{2.5}$ kuru çökelme ölçümlerine dayanarak, i-Tree Eco'nun ilk çok türlü, mekansal ve zamansal ampirik doğrulamasını sağlamaktadır. Ortalama olarak, ölçülen çökelme 33,91 $\mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$ olup, i-Tree Eco ölçülen çökelmeyi ortalama % 7 oranında düşük tahmin ederek, geniş ölçekli, çok türlü ve mekansal ve zamansal uygulamalar için sağlam bir performans sergilemiştir. Ölçülen değerler ile modelden elde edilen değerler arasındaki tutarsızlıkların nedeni düşük ve sabit rüzgar koşullarında, $PM_{2.5}$ verilerinin sınırlı temsil edilebilirliği ile alakalı bulunmuştu ve bu da model doğruluğunu iyileştirmek için yerelleştirilmiş hava kalitesi ölçümlerine duyulan ihtiyaca işaret etmiştir. Kentsel ormanların hava kalitesi düzenleme hizmetlerini değerlendirmede i-Tree Eco'nun doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırmak için ampirik doğrulama, alana özgü kalibrasyon ve türler arası biyolojik izlemenin gerekliliğini pekiştirmektedir. i-Tree Eco modeli, uzun vadeli şehir ölçekli çökelme eğilimlerini etkili bir şekilde yeniden üretmiştir; ancak daha ince mekansal ve zamansal ölçeklerdeki tutarsızlıklar, tahminlerinin bölgeye özgü koşullar altında doğrulanmasının önemini vurgulamaktadır.

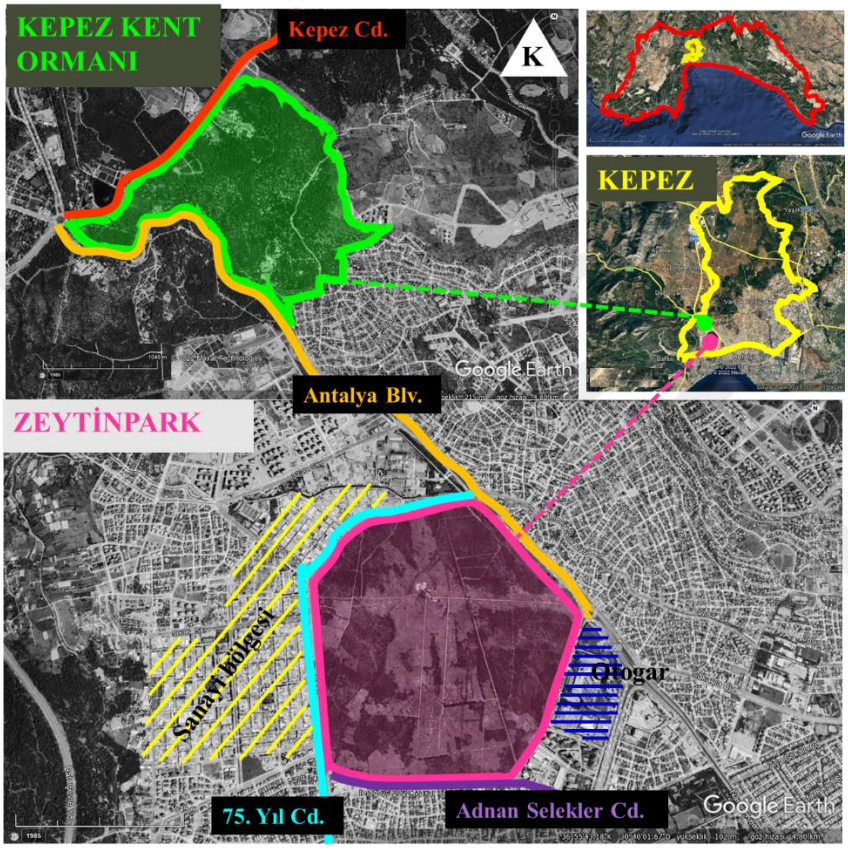
Li vd. (2025) Çin'de ulusal orman şehri olarak bilinen Tai'de karbon tutulumu ölçümleri yapılarak i-Tree Eco ve InVEST karşılaştırılmıştır. Gösterge dönüştürme yöntemlerini kullanılarak, Çin Orman Kaynakları Envanteri Coğrafi Bilgi Veritabanı i-Tree Eco ile birleştirilmiştir. Sonuçlar, i-Tree Eco'nun kentsel-kırsal ormanların sağladığı karbon yutaklarını (2019'da) başarıyla tahmin ettiğini ve yaygın olarak kullanılan InVEST modeline kıyasla karbon tutulumu ve depolamasının mekansal çözünürlüğünü yaklaşık 350 m × 350 m'den 195 m × 195 m'ye kadar iyileştirdiğini göstermiştir. Geleneksel IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) yöntemine kıyasla, i-Tree Eco modeli küçük ölçekli karbon tutulumu ölçümlerinde daha yüksek doğruluk ve zamanlılık sağlamış, doğal ağaç büyümesinden kaynaklanan karbon tutulmasını da hesaplayabildiğinden karbon tutulumu hesabı için bir sonraki orman envanterinin yayınlanmasını bekleme ihtiyacını ortadan kaldırmıştır.

Cui ve Adams (2025) Kanada'nın Mississauga şehrindeki cadde ağaçlarının $PM_{2.5}$ giderme kapasitesini i-Tree Eco kullanarak değerlendirmiştir. 200.560 ağacın (245 tür) yaklaşık yirmi sekiz ton $PM_{2.5}$ uzaklaştırdığı hesaplanmıştır. Toplam ağaç popülasyonunun yalnızca % 14,37'sini oluşturan iğne yapraklı ağaçlar, yaprak döken ağaçların 2,18 tonluk katkısına kıyasla, 25,63 ton (toplam birikimin % 85,63'ü) $PM_{2.5}$ birikimine neden olmuştur. İğne yapraklı ağaçların uzaklaştırma verimliliği, daha yüksek birikim hızlarından, daha büyük LAI, gövde çapı, ağaç boyutundan ve geniş taç alanı veya yoğun yaprak örtüsünden kaynaklanmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Araştırma alanı Antalya ili Kepez ilçesinde yer alan Zeytin Park ile Kepez Kent Ormanı'dır. Antalya'nın önemli ulaşım aksları olan Antalya Bulvarı, 75. Yıl ve Adnan Selekler Caddesi ile çevrelenen Zeytin Park aynı zamanda Antalya Otogarı ile Sanayi Bölgesi arasında yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ın konumu (Google earth 2026)

Zeytin Park 2.630.000 m^2 büyüklüğünde, ortalama 84 m rakıma sahip bir kent parkıdır. Parkta başta Zeytin (*Olea europaea*) ağaçları olmak üzere Kavak (*Populus sp.)*, Çınar (*Platanus orientalis*), incir (*Ficus carica*), Meşe (*Quercus sp.*), Çitlembik (Celtis australis), Keçi boynuzu (*Ceratonia siliqua*), Limon (*Citrus limon*), Erik (*Prunus domestica*), Servi (*Cupressus sp.),* Hurma (*Phoenix dactylifera*), Okaliptus (*Eucalyptus globulus*), Nar (*Punica granatum),* Söğüt (*Salix sp.*), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*), Portakal (*Citrus sinensis),* Turunç (*Citrus aurantium)*, Cennet Hurması (*Diospyros kaki*), Dut (*Morus alba*), Şeftali (*Prunus persica),* Armut (*Pyrus communis)* ağaçları da bulunmaktadır. Zeytin Park'ın 1.146.723 m^2'sini zeytinlik alanlar oluştururken 1.483.277 m^2'sini makilik alanlar oluşturmaktadır. Park içerisinde yürüyüş yolları, zeytin fabrikası ve tek katlı hizmet binaları yer almaktadır.

Kepez Kent Ormanı, Antalya'nın önemli ulaşım aksları olan Kepez Caddesi ve Antalya Bulvarı'nın kesişiminde yer almaktadır. Doğusunda konut dokusu, diğer

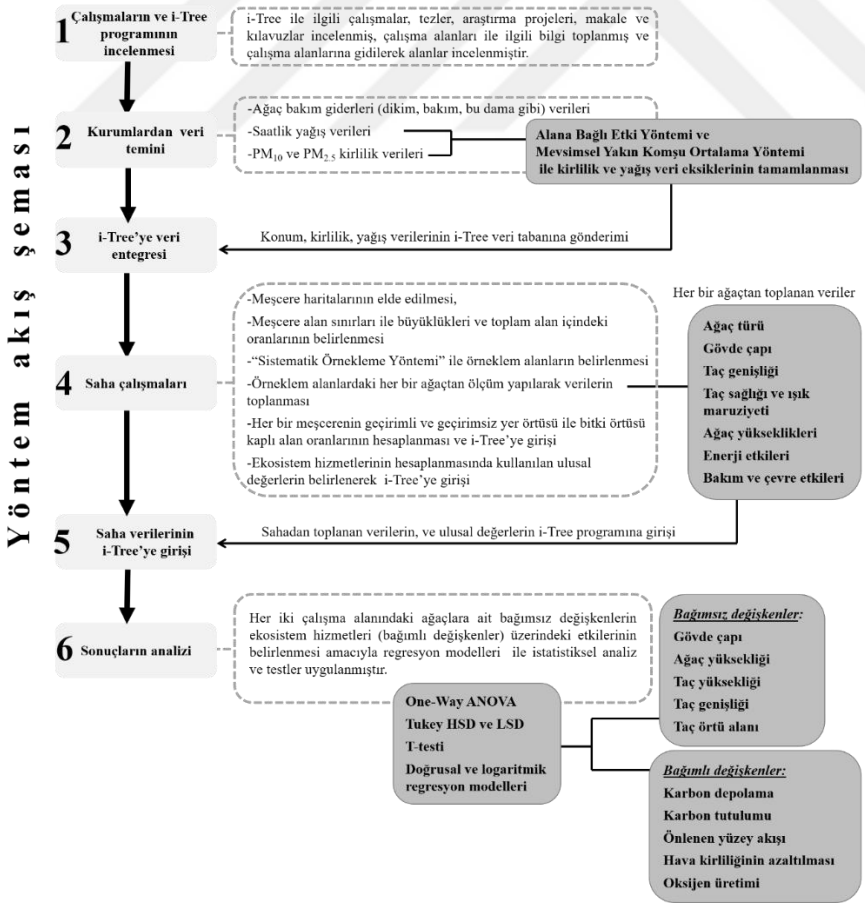
cephelerinde ise orman dokusu yer almaktadır (Şekil 3.1). Kepez Kent Ormanı 1.770.000 m^2 büyüklüğünde, ortalama 250 m rakıma sahip bir kent ormanıdır. Ormanda ağırlıklı Kızılçam (*Pinus brutia*) ağaçları haricinde Fıstıkçamı (*Pinus pinea*) türü de bulunmaktadır. Ormanın 1.611.822 m^2'sini iğne yapraklı türler oluştururken, 88.178 m^2'sini makilik alanlar oluşturmaktadır. Orman içinde macera parkı, gençlik kampı, belediye tesisi, at çiftliği yer almaktadır.

Bu çalışma için Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ın seçilmesinin nedenleri arasında benzer büyüklükteki kamusal yeşil alan olmaları; birbirlerine yakın konumda olmaları nedeniyle aynı meteorolojik veriler kullanılarak karşılaştırmaya olanak sağlamaları; farklı bitki örtüsüne sahip olmaları nedeniyle farklı vejetasyon örtüsünün sağladığı ekosistem hizmetlerini ile ilişkili ekonomik faydaları kıyaslamaya olanak sağlamaları sayılabilir.

Araştırmanın ana materyalini sahadan toplanan birincil veriler ve kurum kuruluşlardan elde edilen ikincil veriler oluşturmaktadır. İkincil verileri meteorolojik veriler, kirlilik verileri ve ağaçların yıllık bakım giderleri oluşturmaktadır.

3.2. Metot

Çalışma 6 aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Araştırma yönteminin akış şeması

1.aşama:

Daha önce i-Tree programı kullanılarak yapılmış çalışmalar, tezler, araştırma projeleri, makaleler, kitaplar incelenmiş ve i-Tree programı hakkında bilgi toplanmıştır. i-Tree programı kılavuzları incelenmiş program hakkındaki videoları izlenmiştir. Çalışma sahaları ile ilgili Orman Bölge Müdürlüğü ve Zeytin Park A.Ş Müdürlüğü ile görüşmeler yapılarak alanların yönetimi, bakımı hakkında bilgi toplanmış ve çalışma sahalarına gidilerek alanlar incelenmiştir.

2.aşama:

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'nden 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait saatlik 10 mikrondan küçük partikül madde (PM_{10}) ve 2.5 mikrondan küçük partikül madde ($PM_{2.5}$) kirlilik verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2022 yılına ait saatlik yağış verileri, Kepez Kent Ormanı için Orman Bölge Müdürlüğü'nden, Zeytin Park için Zeytin Park A.Ş. Müdürlüğü'nden ağaçların yıllık bakım giderleri (dikim, bakım, budama gibi) hakkında veri temin edilmiştir (Çizelge 3.1). Bu veriler bulgular bölümünde Kepez Kent Ormanı için Çizelge 4.7 ve Zeytin Park için Çizelge 4.86' da net yıllık fayda değerini hesaplamak için kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ta yıllık bakım giderleri

Giderler	**Maliyet**	
	Kepez Kent Ormanı	**Zeytin Park**
Kuru dal bu daması	Günlük sepetli araç kirası (12 000 TL) + günlük yakıt 15 lt (954 TL) + 2 yevmiye (5872 TL) =18 826 TL	Uzatmalı motor alım fiyatı (3350 TL) + günlük yakıt 5 lt (318 TL) + yevmiye (2936 TL) = 6 604 TL
Ağaç kaldırma	Traktör günlük kirası (3550 TL) + günlük yakıt 28 lt (1781 TL) + 2 yevmiye (5872 TL) =11 203 TL	Günlük traktör kirası (3550 TL) + günlük yakıt 28 lt (1781 TL) +2 yevmiye (5872 TL) = 11 203 TL
Zararlı hastalık kontrolü	Biyolojik mücadele yapılmaktadır. Günlük pikap kirası (3660 TL) + günlük yakıt 10 lt (636 TL) = 4 296 TL	Pest kontrolü bu dama döneminde saha ekipleri tarafından yapılmakta olup alan çevresinde tarla, bahçe olmadığından herhangi bir zararlı olmamaktadır.
Toprak havalandırma	-	Çapa motoru alım fiyatı 7 000 TL + günlük yakıt 10 lt (636 TL) + 3 yevmiye (8808 TL) + günlük traktör kirası (3550 TL) + günlük yakıt 28 lt (1772 TL) =21 766 TL
Ağaç envanteri güncelleme, riskli ağaç tespiti ve sağlık durumu değerlendirmesi	Günlük pikap kirası (3660 TL) + günlük yakıt 10 lt (636 TL) = 4 296 TL	Günlük pikap kirası (3660 TL) + günlük yakıt 10 lt (636 TL) = 4 296 TL
Riskli ağaç kesimi	Günlük sepetli araç kirası (12 000 TL) + günlük yakıt 15 lt (954 TL) + günlük traktör kirası (3550 TL) + günlük yakıt 28 lt (1781 TL) +4 yevmiye (11744 TL) =30 029 TL	Ağaç motoru alım fiyatı (3500 TL) + günlük yakıt 10 lt (636 TL) + günlük traktör kirası (3550 TL) + günlük yakıt 28 lt (1781 TL) + 3 yevmiye (8808 TL) = 18 275 TL

Yakıt fiyatı olarak 15 Mart 2026 tarihindeki 63,60 TL baz alınmıştır. Günlük işçi yevmiyesi olarak 2936 TL baz alınmıştır.

3.aşama:

Temin edilen kirlilik verileri ile yağış verilerinin eksiklikleri değiştirilmiş Alana Bağlı Etki Yöntemi (Modified Site-Dependent Effect Method (SDEMm)) (Bkz syf. 47) ve Mevsimsel Yakın Komşu Ortalama Yöntemi (Seasonal Neighbor Averaging) (Bkz. Syf. 48) ile tamamlanmıştır.

Kepez bölgesi, 2022 yılı, saatlik $PM_{2.5}$, PM_{10}, CO, NO_2, O_3, SO_2 kirlilik verilerinden, NO_2 kirlilik verisinde 2022 yılında Nisan ayından sonra hiç veri olmadığı, 2021 yılında temmuz ayından sonra hiç veri olmadığı ve 2020 yılında ise Mayıs, Haziran, Temmuz ile Ağustos'un ilk iki haftası hiç veri olmadığı için bu üç yıla ait verilerin ortalaması alınarak veri seti oluşturulmuştur. $PM_{2.5}$, PM_{10}, CO, NO_2, O_3, SO_2 kirlilik verilerindeki eksiklikler, tekli çok değişkenli imputasyon yöntemi olan Değiştirilmiş Alana Bağlı Etki Yöntemi (Modified Site-Dependent Effect Method (SDEMm) (Plaia ve Bondi 2006; Hirabayashi ve Kroll 2017) kullanılarak tamamlanmıştır. NO_2, veri setinde Değiştirilmiş Alana Bağlı Etki Yöntemi yanında ayrıca Mevsimsel Yakın Komşu Ortalama Yöntemi (Seasonal Neighbor Averaging) (Flores vd. 2019) kullanılmıştır. 6-19 Ağustos aralığı (yıl içinde 32. ve 33. haftaya denk gelmektedir) 3 yıl içinde eksik olduğundan ve SDEMm yönteminin uygulanabilmesi için haftalık gözlenen değerlerin (verilerin) ortalamasının alınması gerektiğinden her bir haftadaki eksik verilerin 84 adeti Mevsimsel Yakın Komşu Ortalama Yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır.

Çalışma alanlarının konumları ile beraber veri eksiği tamamlanan, kirlilik ve yağış verileri, i-Tree veri tabanına entegre için i-Tree ekibine gönderilmiş (Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4) ve yaklaşık üç ay içinde veri tabanına entegre gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.2. Konum verilerinin i-Tree veri tabanına girildiği şablon örneği

Konum ve ilgili bilgiler	**Açıklama**
Kıta	Asya
Ülke	Türkiye
Bölge	Akdeniz
İl	Antalya
İlçe	Kepez
Para birimi	Türk lirası
Enlem	Konumun merkez noktasının ondalık cinsinden enlemi
Boylam	Konumun merkez noktasının ondalık cinsinden boylamı
Rakım(metre)	Konumun merkez noktasının rakımı.
Nüfus	614.135 (Kepez ilçesi 2025 Yılı Nüfusu)
Alan (m^2)	Her bir çalışma alanı büyüklüğü girilmiştir.
İklim Bölgesi	ABD'de iklimi konumun iklimine en çok benzeyen bölge seçilir. Yerel enerji etkilerini tahmin etmek için kullanılır. Köppen iklim sınıflandırmasına göre Antalya, ABD bölgesi olarak California'ya denk gelmektedir.

(**Devamı Arkada**)

Elektrik emisyonları (kg CO_2 / kWh)	Belirtilen konumda kullanılan her kWh elektrik başına salınan CO2 miktarını ifade eder.
Ortalama minimum sıcaklık (Fahrenheit)	Yerel olarak gözlemlenen uzun vadeli ortalama günlük minimum sıcaklığı ifade eder.
Yılın yapraklı günleri	İlkbaharda yerel olarak donun sona erdiği yılın günü (1- 365) belirlenir.
Yılın yapraksız günleri	Sonbaharda yerel olarak donun başladığı yılın günü (1- 365) belirlenir.
GMT saat farkı	Yerel saat ile Greenwich Ortalama Saati (GMT) arasındaki saat farkı ifade eder.
Ort. yaz sıcaklıklarının (ºC)	Ortalama yaz maksimum sıcaklıkları 25°C'nin üzerinde olup olmadığı belirlenir.
Yıllık yağış miktarı (mm)	Yıllık yağış miktarı 1.000 milimetreden fazla olup olmadığı belirlenir.
Bitki örtüsü durumu	Alanın % 50 veya daha fazlasını bitki örtüsünün kaplayıp kaplamadığı belirlenir.
Yıllık ortalama kar yağışı	Yıllık ortalama kar yağışının 10 santimetre veya daha fazla olup olmadığı belirlenir
Ozon durumu	Bulunduğu yerin ozon derinliğine en çok benzeyen ABD eyaleti seçilir

Çizelge 3.3. Yağış verilerinin i-Tree veri tabanına girildiği şablon örneği

Yağış ve ilgili bilgiler		**Açıklama**
Yağış istasyonu	İstasyon adı	Yağış ölçüm verilerinin alındığı istasyon adı
	Enlem	Yağış ölçüm istasyonunun enlemi
	Boylam	Yağış ölçüm istasyonunun boylamı
Yağış verileri	Yıl	Yağış verilerinin toplandığı takvim yılı
	Yağış verileri	Yağış verilerinin olduğu Excel dosyası i-Tree veri formuna uyarlanarak yüklenir

Çizelge 3.4. Kirlilik verilerinin i-Tree veri tabanına girildiği şablon örneği

Kirlilik ve ilgili bilgiler		**Açıklama**
Kirletici izleme istasyonu	Ülke	Çevre kirliliği izleme istasyonunun bulunduğu ülke
	Enlem	Çevre kirliliği izleme istasyonunun enlemi
	Boylam	Çevre kirliliği izleme istasyonunun boylamı
Kirlilik verileri	Yıl	Kirlilik verilerinin toplandığı takvim yılı girilir
	Kirlilik verileri	Kirlilik verilerinin olduğu excel dosyası i-Tree veri formuna uyarlanarak yüklenir

Değiştirilmiş Alana Bağlı Etki Yöntemi'nin Uygulanması

Bu yöntem i-Tree Ecoya yüklenecek verilerde eksiklikleri tamamlamak için geliştirilen ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında en iyi performansı sağlayan yöntemdir (Plaia ve Bondi 2006; Hirabayashi ve Kroll 2017).

Yöntem 3 ana adımda uygulanmıştır:

1.adım:
Her bir kirleticinin ($PM_{2.5}$, PM_{10}, CO, NO_2, O_3, SO_2) veri seti

1. yılın kaçıncı haftası w (=1, 2, …, 53),
2. haftanın kaçıncı günü d (=1, 2, …, 7)
3. günün hangi saati h (=0, 1, 2, …, 23)

şeklinde düzenlenmiştir.

2.adım:
Eksik verinin bulunduğu:

1. Yılın haftası ortalaması (1. Hafta ortalaması gibi))
2. Haftanın günü ortalaması (yıl içindeki 1. Günlerin ortalaması gibi)
3. Günün saati ortalaması (Yıl içindeki 00:00 saatlerinin ortalaması gibi)

Alınır.

3.adım:
Yılın haftası w (=1, 2, …, 53), haftanın günü d (=1, 2, …, 7) ve günün saati h (=0, 1, …, 23) ile belirtilen t zamanındaki eksik değerler $\hat{x}t_{wdh}$, haftanın günü etkisi ($\bar{x}_d / \bar{x}_y$), günü saati etkisi ($\bar{x}_h / \bar{x}_y$) ve yılın haftası ortalamasının çarpılmasıyla tahmin edilir.

$$\hat{x}_{t_{wdh}} = \bar{x}_w \times \frac{\bar{x}_d}{\bar{x}_y} \times \frac{\bar{x}_h}{\bar{x}_y} \times F \qquad (3.1)$$

$\bar{x}_w$: yılın haftası ortalaması,
$\bar{x}_d$: haftanın günü ortalaması,
$\bar{x}_h$: günün saati ortalaması ve
$\bar{x}_y$: veri setindeki eksik olmayan yıllık tüm verilerin ortalaması
F: ayarlama faktörüdür.

Haftanın günü etkisi, haftanın günü ortalamasının ($\bar{x}_d$), yıllık veri ortalamasına ($\bar{x}_y$) bölünmesiyle hesaplanır.

Günün saati etkisi, günün saati ortalamasının($\bar{x}_h$) yıllık veri ortalamasına ($\bar{x}_y$) bölünmesiyle hesaplanır.

$$F = \frac{\left(\bar{x}_w \times \frac{\bar{x}_d}{\bar{x}_y} \times \frac{\bar{x}_h}{\bar{x}_y}\right) + \frac{x_{son} + x_{ilk}}{2}}{2} \qquad (3.2)$$

x_{son}=eksik veriden önceki ölçüm değeri

x_{ilk}=eksik veriden sonraki ölçüm değeri

NO_2 veri setinde 2 haftalık boşluk olduğundan (32. ve 33. haftalar) bu haftaların ortalaması alınamamıştır. Bu nedenle veri setinin tamamında yöntemin uygulanabilmesi için 32. ve 33. haftalarda Mevsimsel Yakın Komşu Ortalama Yöntemi kullanılmıştır.

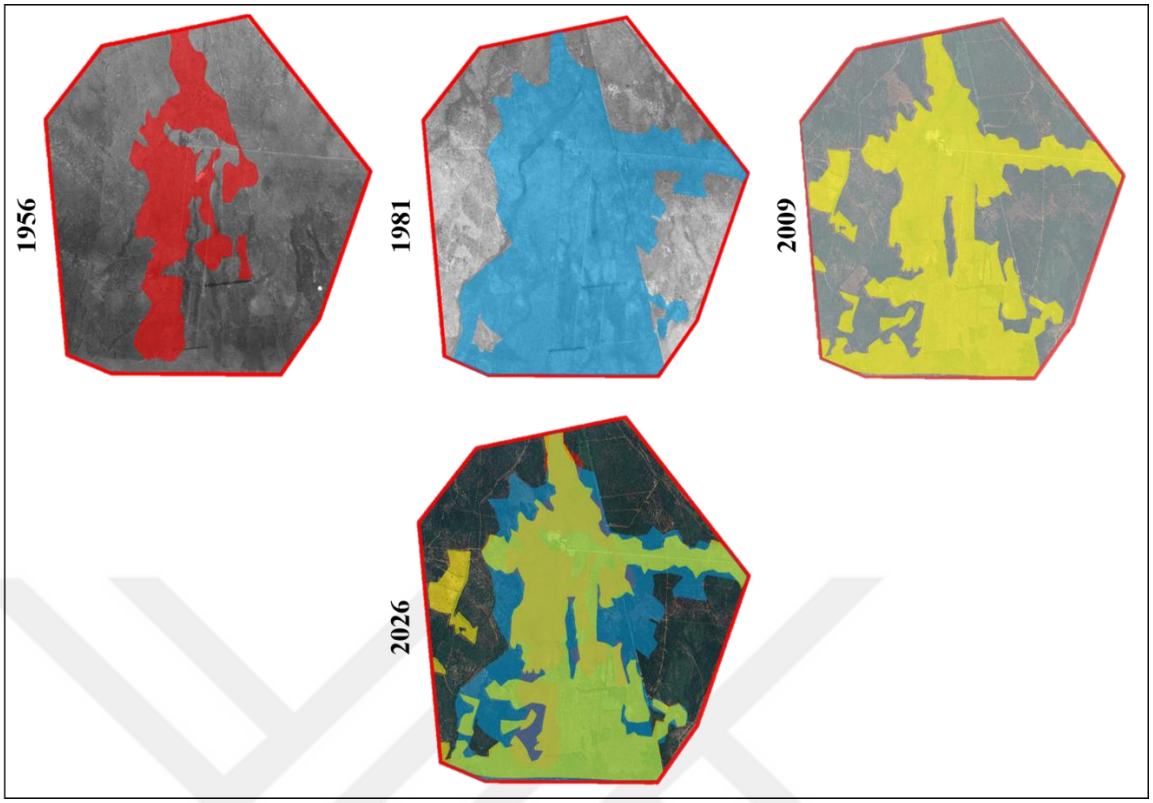
Mevsimsel Yakın Komşu Ortalama Yöntemi'nin Uygulanması

Bu yöntemde eksik veriye sahip ayın, aynı gün ve aynı saatteki kendine en yakın önceki iki ay ve sonraki iki ay verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada NO_2 veri setinde, ağustos ayına denk gelen 2 haftalık veri eksiği, ağustos ayı öncesindeki iki ay (Haziran, Temmuz) ile Ağustos sonrasındaki iki aydaki (Eylül, Ekim) ölçülmüş değerlerin ortalaması alınmıştır.
32. hafta için 1. gün ilk 12 saatlik eksik veri (0-11 saat aralığı), 3., 5. ve 7. günler ise 24 saatlik eksik veri, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim aylarındaki ölçülen değerlerin aynı saat ve günlerinin ortalaması alınarak toplamda 84 saatlik eksik veri doldurulmuştur.
33. hafta için 1. gün son 12 saatlik eksik veri (12-23 saat aralığı), 2., 4. Ve 6. Günler ise 24 saatlik eksik veri, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim aylarındaki ölçülen değerlerin aynı saat ve günlerinin ortalaması alınarak toplamda 84 saatlik eksik veri doldurulmuştur.
Bu şekilde 32 ve 33. Haftalarda hafta ortalamasını oluşturabilecek veri temeli oluşturularak SDEMm yönteminin uygulanabilmesi mümkün kılınmıştır. Ardından i-Tree ekibinden e-posta yolu ile talep edilen veri girişi formları eksikleri tamamlanan veri setleri ile doldurularak i-Tree veri tabanına yüklenmiştir.

4.aşama:

Hem Kepez Kent Ormanı hem de Zeytin Park'ta "Sistematik Örnekleme Yöntemi (Bkz syf. 52)" ile örneklem alanlar belirlenmiş ve sahada bu örneklem alanlardaki her bir ağaçtan ölçüm yapılarak veriler toplanmıştır.
Meşcere, ağaç türü, karışımı, büyüme, gelişme ve yaş gibi özelliklerin hepsi, birkaçı ya da biri bakımından kendisini yakın çevresinden açık olarak ayıran orman parçasıdır (Aksoy 1980, Atay 1988). Meşcere isimlendirilmesinde ilk iki harf ağaç türünü (Çz: kızılçam, Çf: fıstıkçamı vb.), üçüncü ve dördüncü harf gövde çapını bir diğer ifadeyle yaşı (Çzcd: ince ve orta kalınlıkta gövde çapına sahip kızılçam), rakamlar ise tepe kapalılığını (Çzcd2: Orta kapalılığa sahip, ince ve orta kalınlıkta kızılçam meşceresi) ifade etmektedir. Zeytin Park bir orman olmadığından meşcere haritasına sahip değildir. Bu nedenle örneklem alanlar belirlenmeden önce Zeytin Park için dikilen zeytinlerin dikim yılı baz alınarak meşcere haritası oluşturulmuştur.

Zeytin Park'ın ulaşılabilen ilk hava fotoğrafı 1956 yılına aittir. Bu tarihten sonra ulaşılabilen hava fotoğrafları 1981 ve 2009 olmuştur. 2009 tarihinden sonra ise günümüze kadar olan tüm hava fotoğrafları incelenmiş ve Zeytin parktaki en yeni zeytin ağaçlarının 2009'da dikilmiş olduğu tespit edilmiş, alana gidilerek park müdürü ve uzun yıllardır sahada çalışan bir saha çalışanı ile görüşülmüş ve incelemeler yapılmıştır. Görüşme ve sahada inceleme sonrası 1956, 1981, 2009 yılına ait hava fotoğraflarındaki zeytinlik alanlar Adobe Photoshop programı aracılığıyla belirlenmiştir. Zeytinlik alanların belirlendiği üç hava fotoğrafı ile 2026 yılı hava fotoğrafı çakıştırılmış ve zeytinlik alanların yıllara göre değişiminden zeytin ağaçlarının yaşları saptanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil.3.3. Zeytin Park'ta 1956, 1981, 2009 yıllarında dikilen zeytin ağaçlarının kapladığı alanlar ve bu alanların 2026 yılına hava fotoğrafında çakıştırılması

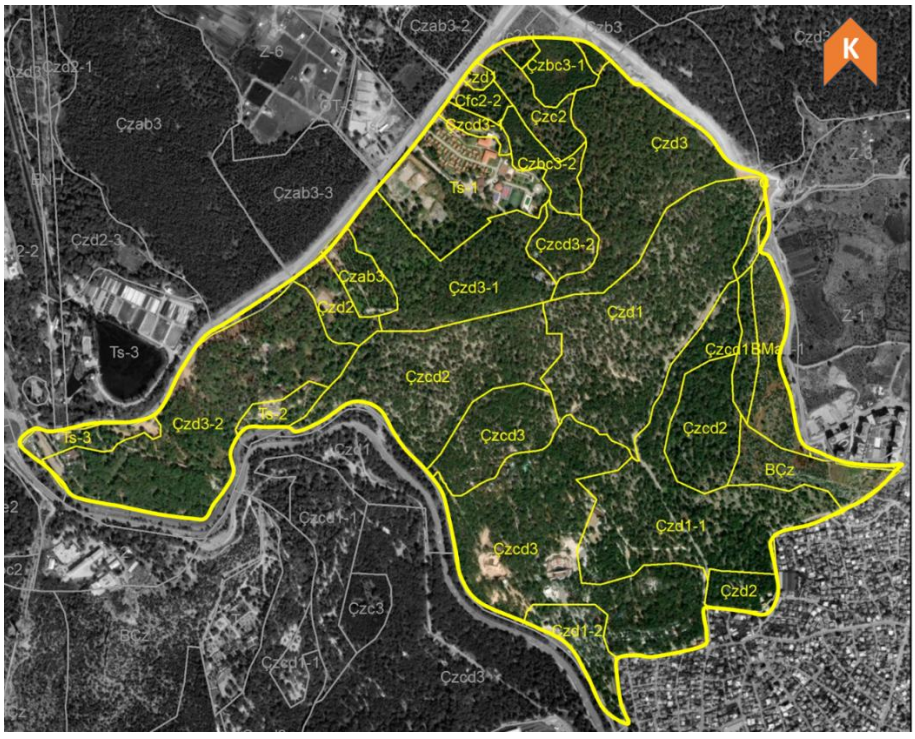
Zeytinlik alanların yaşları belirlendikten sonra güncel hava fotoğrafından zeytinlik ve zeytinlik harici bitki örtüsünün olduğu alanlar belirlenmiş, araziye gidilerek bu örtünün kızılçam, fıstık çamı ile karışık maki olduğu tespit edilmiştir. Zeytin Park için makilik ve zeytinlik alanlar olmak üzere iki bitki örtüsü türü belirlenmiş ve makilik-çamlık alanlar yoğunluklarına, zeytinlik alanlar yaşlarına göre sınıflandırılarak harita üzerinde sınırları belirlenmiş ve meşcere haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.4). Zeytin Park için oluşturulan meşcere tipleri:

C1: Yoğun makilik
C2: Orta yoğun makilik
C3: Az yoğun makilik
Z1: 1956 yılından beri var olan zeytinlik
Z2: 1981 yılından beri var olan zeytinlik
Z3: 2009 yılından beri var olan zeytinlik

Kepez Kent Ormanı için örneklem alanlar belirlenirken ArcGIS programı yardımıyla meşcere haritası üzerinden meşcere tiplerinin sınırları belirlenmiş (Şekil 3.5) ve kapladıkları alan miktarı ile alan miktarlarının toplam alan içerisindeki oranları % olarak hesaplanmış ve yaşlarına göre gruplara ayrılmıştır (Çizelge 3.5).



Şekil 3.4. Zeytin Park meşcere tiplerinin sınırları



Şekil 3.5. Kepez Kent Ormanı meşcere tiplerinin sınırları

Çizelge 3.5. Çalışma alanlarındaki her bir meşcere tipinin alan miktarlarının toplam alan içerisindeki % oranları

KEPEZ KENT ORMANI		
Meşcere tipi	**Alan büyüklüğü (m^2)**	**Oransal dağılım**
Çzab3	24.470	0,02
Çzb3	3.865	0,00
Çzbc3	49.730	0,03
Çzc2	29.614	0,02
Çfc2	16.045	0,01
Çzcd1	24.361	0,02
Çzcd2	202.873	0,13
Çzcd3	313.491	0,19
Çzd1	426.376	0,26
Çzd2	43.103	0,03
Çzd3	477.894	0,30

1. Grup : genç meşcereler
2. Grup: orta yaşlı meşcereler
3. Grup: yaşlı meşcereler

ZEYTİN PARK		
Meşcere tipi	**Alan büyüklüğü (m^2)**	**Oransal dağılım**
C1	1.117.279	0,43
C2	290.863	0,11
C3	24.865	0,01
Z1	659.974	0,25
Z2	427.822	0,16
Z3	58.927	0,02

Zeytin Park için meşcere haritası oluşturulduktan sonra Kepez Kent Ormanı'nda olduğu gibi meşcere tiplerinin kapladıkları alan miktarı ile alan miktarlarının toplam alan içerisindeki oranları % olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 3.5).

Sistematik Örnekleme Yöntemi

Çalışma alanlarında bu yöntem 4 adımda uygulanmıştır.

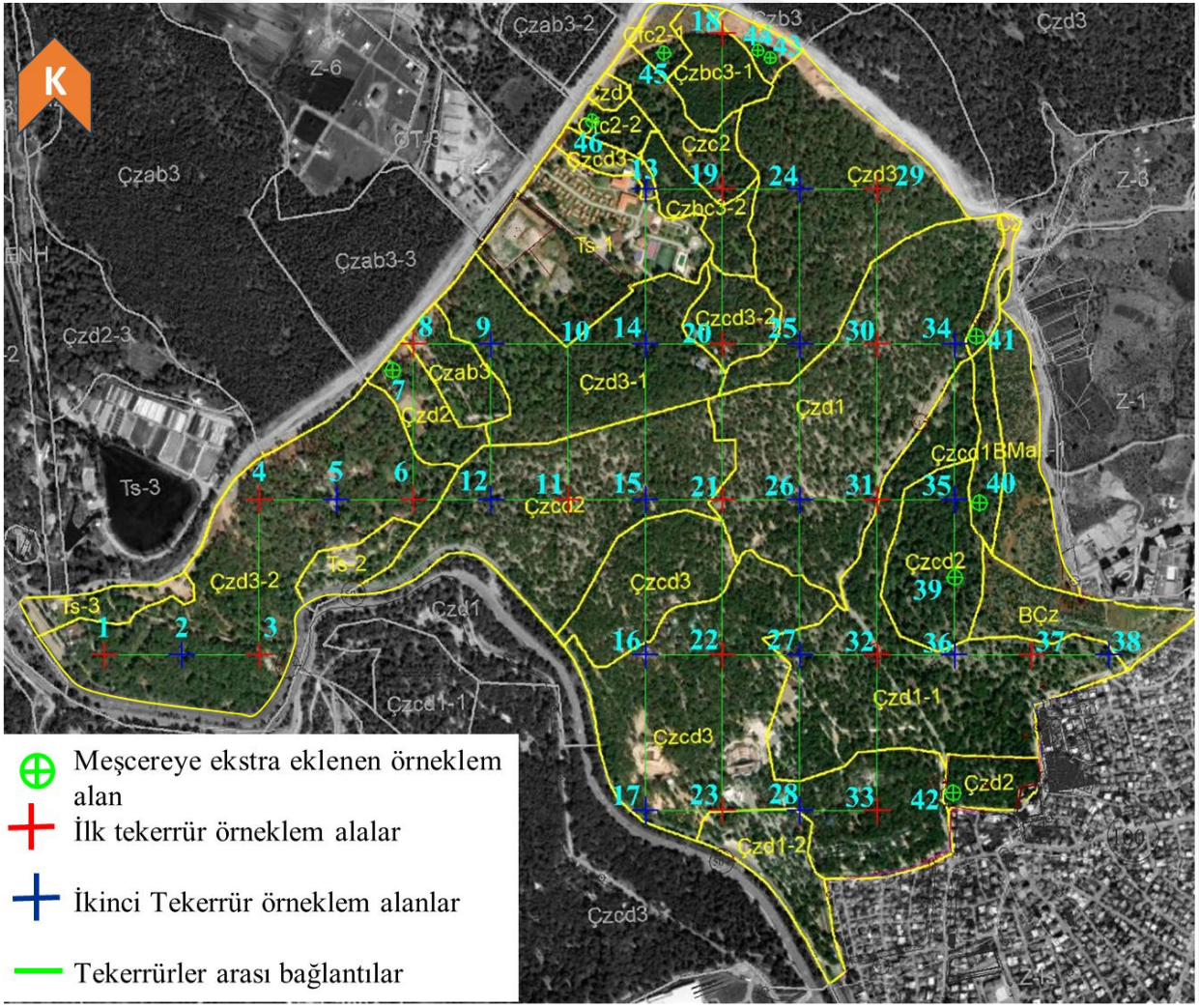
1.adım:

Kepez Kent Ormanında, arazi üzerinde rahat ölçüm yapılabilmesi açısından ''Sistematik Örnekleme'' ye uygun olarak, meşcere tipleri yaşlarına (gelişme çağlarına) göre 3 gruba ayrılmıştır. 1.grubu genç meşcereler, ikinci grubu orta yaş meşcereler ve 3. grubu yaşlı meşcereler oluşturmuştur. Ancak parktaki ağaçların taç kapalılık ve sıklık durumu bilinmediğinden ve zeytin ağaçları 10 * 10 m veya 7 * 7 m aralıklarla dikildiğinden örneklem alan içinde daha fazla ağaç ölçümü yapılabilmesi adına tüm meşcereler üçüncü grupta kabul edilmiştir (Çizelge 3.5).

2.adım:

Orman Amenajman Heyetlerinin arazide örneklem alan miktarını belirlerken kullandığı esaslar (Orman Genel Müdürlüğü, 2017) temel alınarak AutoCAD programında oluşturulan 300*300 m'lik karelaj şablonu, ArcGIS' programından elde edilen Kepez Kent Ormanı meşcere haritası üzerine yerleştirilerek karelajın kesişme noktalarındaki örneklem alanlarının noktasal koordinatları NetCAD programında belirlenmiştir (Şekil 3.6).

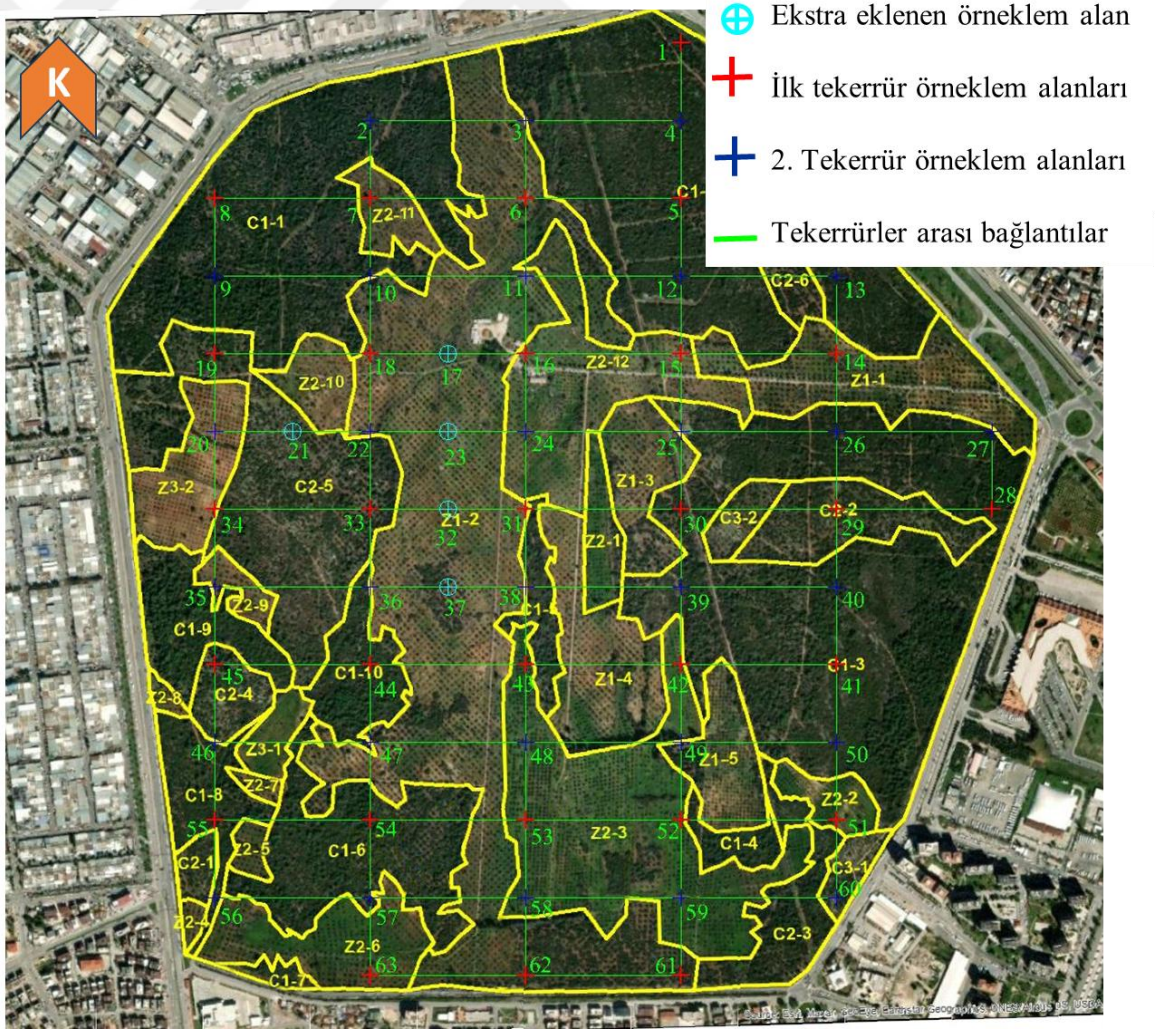
Zeytin Park içinde 300*300 m'lik karelaj şablonu, meşcere haritası üzerine yerleştirilerek karelajın kesişme noktalarındaki örneklem alanlarının noktasal koordinatları NetCAD programında belirlenmiştir (Şekil 3.7).



Nokta No	Y	X
1	555924.673	4091280.405
2	556075.000	4091280.000
3	556224.673	4091280.405
4	556224.673	4091580.405
5	556376.814	4091580.405
6	556529.138	4091580.405
7	556483.750	4091829.608
8	556524.673	4091880.405
9	556674.673	4091880.405
10	556824.673	4091880.405
11	556824.673	4091580.405
12	556674.673	4091580.405
13	556974.673	4092180.405
14	556974.673	4091880.405
15	556974.673	4091580.405
16	556974.673	4091280.405
17	556974.673	4090980.405
18	557124.673	4092480.405
19	557124.673	4092180.405
20	557124.673	4091880.405
21	557124.673	4091580.405
22	557124.673	4091280.405
23	557124.673	4090980.405
24	557274.673	4092180.405
25	557274.673	4091880.405
26	557274.673	4091580.405
27	557274.673	4091280.405
28	557274.673	4090980.405
29	557424.673	4092180.405
30	557424.673	4091880.405
31	557424.673	4091580.405
32	557424.673	4091280.405
33	557424.673	4090980.405
34	557574.673	4091880.405
35	557574.673	4091580.405
36	557574.673	4091280.405
37	557724.673	4091280.405
38	557874.673	4091280.405
39	557574.673	4091430.405
40	557623.623	4091574.349
41	557616.235	4091895.908
42	557572.770	4091013.759
43	557216.847	4092432.601
44	557193.447	4092446.728
45	557010.607	4092442.255
46	556871.800	4092310.876

Şekil 3.6. Karelaj sisteminin Kepez Kent Ormanı meşcere haritası üzerinde çift tekerrürlü uygulama örneği

Nokta No	Y	X
1	558522.737	4089221.231
2	557922.764	4089071.231
3	558222.764	4089071.231
4	558522.764	4089071.231
5	558522.764	4088921.231
6	558222.764	4088921.231
7	557922.764	4088921.231
8	557622.764	4088918.710
9	557622.764	4088771.231
10	557922.764	4088771.231
11	558222.764	4088771.231
12	558522.764	4088771.231
13	558822.607	4088771.231
14	558823.075	4088621.231
15	558522.764	4088621.231
16	558222.764	4088621.231
17	558072.764	4088621.231
18	557922.764	4088621.231
19	557622.764	4088621.231
20	557622.764	4088471.231
21	557772.764	4088471.231
22	557922.764	4088471.231
23	558072.764	4088471.231
24	558222.764	4088471.231
25	558522.764	4088471.231
26	558822.764	4088471.231
27	559123.164	4088471.231
28	559122.670	4088321.231
29	558822.764	4088321.231
30	558522.764	4088321.231
31	558222.764	4088321.231
32	558072.764	4088321.231
33	557922.764	4088321.231
34	557622.764	4088321.231
35	557622.764	4088171.231
36	557922.764	4088171.231
37	558072.764	4088171.231
38	558222.764	4088171.231
39	558522.764	4088171.231
40	558822.588	4088171.231
41	558822.587	4088021.231
42	558522.764	4088021.231
43	558222.764	4088021.231
44	557922.764	4088021.231
45	557622.764	4088021.231
46	557622.764	4087871.231
47	557922.764	4087871.231
48	558222.764	4087871.231
49	558522.764	4087871.231
50	558822.764	4087871.231
51	558822.764	4087721.231
52	558522.764	4087721.231
53	558222.764	4087721.231
54	557922.764	4087721.231
55	557622.764	4087721.231
56	557622.685	4087571.231
57	557922.764	4087571.231
58	558222.764	4087571.231
59	558522.764	4087571.231
60	558821.900	4087571.231
61	558522.239	4087421.231
62	558223.400	4087421.231
63	557923.856	4087421.231

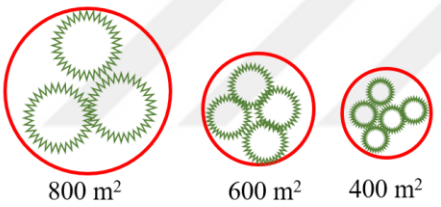


Şekil 3.7. Karelaj sisteminin Zeytin Park meşcere haritası üzerinde çift tekerrürlü uygulama örneği

3.adım:

Kepez Kent Ormanı'nda "Çz" kızılçamı, "Çf" fıstıkçamı ağaç türlerini ifade etmektedir. Meşcerelerin gelişim çağları meşcere tipleri rumuzlandırılmasında a'dan d'ye doğru artmaktadır. ''a'' meşcereleri genç meşcereleri temsil ederken ''d'' meşcereleri ise yaşlı, çap-boy-hacim olarak gelişmiş meşcereleri temsil etmektedir (Çizelge 3.8). ''a'' meşcerelerinde birim alanda daha fazla sayıda ağaç bulunurken, ''d'' meşcerelerinde aynı birim alanda daha az ağaç bulunmaktadır. Bu nedenle örneklem alanlarının meşcere çağları büyüdükçe genişletilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda çalışmada orman amenajmanı envanter çalışmalarına uygun şekilde meşcere gelişme çağları artıkça örneklem alanı büyüklükleri sırasıyla 400- 600- 800 m^2 olacak şekilde planlanmıştır. Örneklem alanları dairesel şekilde alınmış olup, belirlenen alanların içinde kalan ağaçlarda ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.8). Zeytin Park için ağaçların geneli 10 m*10 m aralıklarla dikildiğinden birim alanda bulunan ağaç miktarı yaşa bağlı olarak değişmemektedir. Bu nedenle dairesel örneklem alanda daha fazla ağaç ölçülebilmesi için Zeytin Park için tüm meşcereler 3. Grupta varsayılarak tüm örneklem alanları 800 m^2 olacak şekilde planlanmıştır (Şekil 3.8).

1.Grup = 400 m^2 'lik örneklem alanları
2.Grup = 600 m^2 'lik örneklem alanları
3.Grup = 800 m^2 'lik örneklem alanları



ZEYTİN PARK

Meşcere tipi	Alan büyüklüğü (m^2)	Oransal dağılım
C1	1.117.279	0,43
C2	290.863	0,11
C3	24.865	0,01
Z1	659.974	0,25
Z2	427.822	0,16
Z3	58.927	0,02

KEPEZ KENT ORMANI

Meşcere tipi	Alan büyüklüğü (m^2)	Oransal dağılım
Çzab3	24.470	0,02
Çzb3	3.865	0,00
Çzbc3	49.730	0,03
Çzc2	2.9614	0,02
Çfc2	16.045	0,01
Çzcd1	24.361	0,02
Çzcd2	202.873	0,13
Çzcd3	313.491	0,19
Çzd1	426.376	0,26
Çzd2	43.103	0,03
Çzd3	477.894	0,30

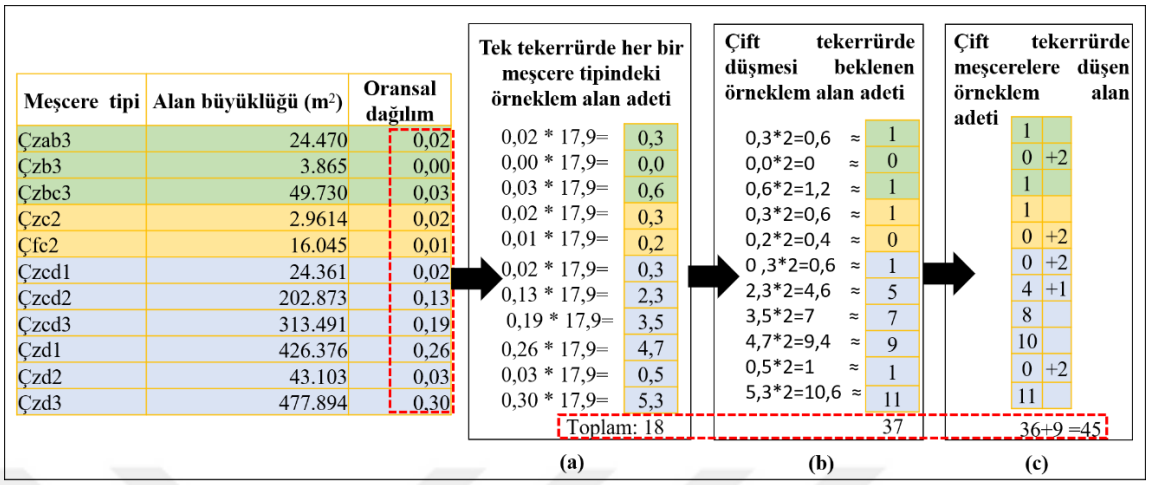
Şekil 3.8. Meşcere tiplerinin yaşlarına (gelişme çağlarına) göre gruplandırılması

4.adım:

Kepez Kent Ormanı için toplam alan büyüklüğü (1.611.822 m^2), 300*300 m^2 lik karelajın alan büyüklüğüne bölünerek (90.000 m^2), orman alanına tek tekerrürde 17,9≈18 adet örneklem alanı düşeceği hesaplanmıştır (Denklem 3.3). Her bir meşcerenin % alan büyüklüğü toplam alanın örneklem adeti ile çarpılarak her bir meşcerede tek tekerrürde kaç adet örneklem alanı olacağı hesaplanmıştır (Şekil 3.9a). Her bir meşcere için tek tekerrürdeki örneklem alan adetleri 2 ile çarpılarak çift tekerrürde düşmesi beklenen örneklem alan adetleri elde edilmiştir (Şekil 3.9b). Kepez Kent Ormanı için oluşturulan karelaj sisteminde hiç örneklem alanı düşmeyen meşcerelere (Çzb3, Çfc2, Çzcd1, Çzd2) +2 adet ve 5 adet örneklem alan düşmesi beklenen Çzcd2 meşceresine 4 adet düştüğü için +1 adet örneklem noktası eklenmiştir. Sonuç olarak Kepez Kent Ormanı'nda toplamda 45 noktada ölçüm yapılacak örneklem alanı belirlenmiştir. (Şekil 3.9c).

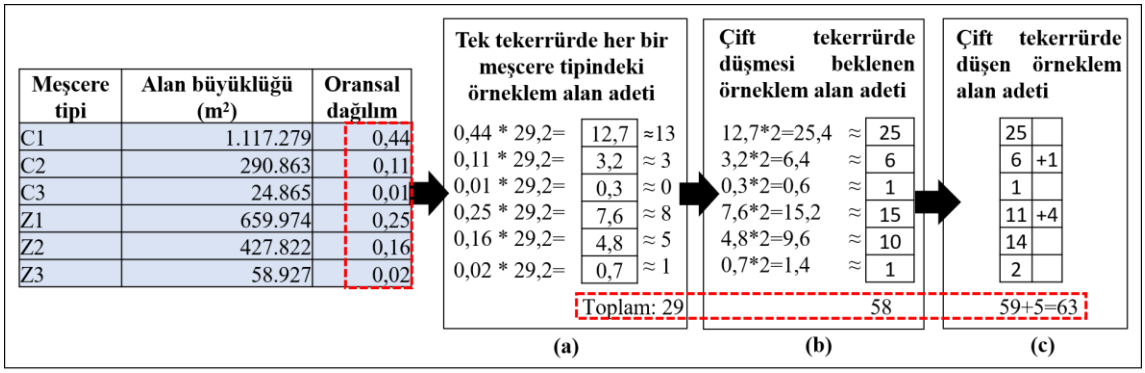
$$örneklem\ alan\ adeti = toplam\ alan(m^2) \div karelaj\ alan\ (m^2) \quad (3.3)$$

Toplam alan: Kepez Kent Ormanı 1.611.822 m^2, Zeytin Park 2.600.000 m2
Karelaj alan: 300*300=90 000 m^2



Şekil 3.9. a) Kepez Kent Ormanı için tek tekerrürde meşcerelerin örneklem alan sayıları; **b)** Çift tekerrürde meşcerelere düşmesi beklenen örneklem alan sayıları; **c)** Karelaj sonucu çift tekerrürde meşcerelere düşen örneklem alan sayıları

Zeytin Park için de aynı süreç uygulanarak parkta tek tekerrürde 28,9≈29 adet örneklem alanı düşeceği hesaplanmıştır (Denklem 3.3). Her bir meşcerenin % alan büyüklüğü toplam alanın örneklem adeti ile çarpılarak her bir meşcerede tek tekerrürde kaç adet örneklem alanı olacağı hesaplanmıştır (Şekil 3.10 a). Her bir meşcere için tek tekerrürdeki örneklem alan adetleri 2 ile çarpılarak çift tekerrürde düşmesi beklenen örneklem alan adetleri elde edilmiştir (Şekil 3.10 b). Zeytin Park için oluşturulan karelaj sisteminde 6 adet örneklem alan düşmesi beklenen C2 meşceresine 5 adet düştüğü için +1 adet, 15 adet örneklem alan düşmesi beklenen Z1 meşceresine 11 adet düştüğü için +4 adet, örneklem noktası eklenmiştir. Sonuç olarak Zeytin Park'ta toplamda 63 noktada ölçüm yapılacak örneklem alanı belirlenmiştir. (Şekil 3.10 c).



Şekil 3.10. a) Zeytin Park için tek tekerrürde meşcerelerin örneklem alan sayıları; **b)** Çift tekerrürde meşcerelere düşmesi beklenen örneklem alan sayıları; **c)** Karelaj sonucu çift tekerrürde meşcerelere düşen örneklem alan sayıları

Zeytin Park'ta örneklem alanlarından çamlık ve makilik alanlara denk gelen noktalarda ölçüm yapılamamış olup toplamda sadece zeytin meşcerelerinde 33 adet noktada ölçüm yapılabilmiştir. 31 adet örneklem alan sonucunda 286 adet ağaçta ölçüm yapılmıştır. Yine Kepez Kent Ormanı'nda 10 numaralı örneklem alanı gençlik kampı sınırları içerisinde kaldığından bu noktada ölçüm yapılamamış ve sonuç olarak 44 adet noktada ölçüm yapılabilmiştir. 44 adet örneklem alan sonucunda 452 adet ağaçta ölçüm yapılmıştır. Hem Kepez Kent Ormanı hem Zeytin Park'ta ölçüm yapılan ağaçların toplamı 738'e ulaşmıştır.

Örneklem alanların NetCAD programında oluşturulan noktasal koordinatları telefona yüklenebilen ''Kocaman'' isimli programa girilerek arazide bulunmuştur. Aynı zamanda Arazinin ArcGIS'ten temin edilen meşcere haritası telefona yüklenebilen Carry Map isimli programa aktarılmış ve arazideyken meşcere sınırları takip edilebilmiştir. Saha çalışmasında her bir ağaçtan tür ve bulunduğu meşcere, ağaç gövdesinin yerden 1,30 m yükseklikteki çapı, taç genişliği, taç sağlığı, tacın ışığa maruziyeti, ağaç yükseklikleri, ağacın yakınındaki binaya yönü ve uzaklığı, ağaca yapılacak bakım ve ağacın çevresi ile arasında etkileşim verileri toplanmış ve Çizelge 3.6'da gösterilen form biçiminde saha da doldurulmuştur.

Çizelge 3.6. Sahadan toplanan birincil veriler

Birincil veriler	Açıklama
TÜR	Ağaç tür adı ve meşcere adı
GÖVDE ÇAPI	Gövdenin yerden 1,30 m yükseklikteki çapı(cm)
TAÇ GENİŞLİĞİ	Kuzey-Güney mesafesi (m)
	Doğu-Batı mesafesi (m)
TAÇ SAĞLIĞI VE IŞIK MARUZİYETİ	Dieback (taç sağlığı) (%)
	Taç kaybı (%)
	Tacın ışık alımı (0-5)
AĞAÇ YÜKSEKLİKLERİ	Toplam ağaç yüksekliği (m)
	Canlı ağaç yüksekliği (m)
	Taç ile taban arası yükseklik (m)
ENERJİ ETKİLERİ	Ağaç- bina arası mesafe(m)
	Ağacın binaya yönü
BAKIM VE ÇEVRE ETKİLERİ	Bakım önerisi
	Bakım görevleri
	Kaldırım ile bağlantısı
	Çevresi ile bağlantısı

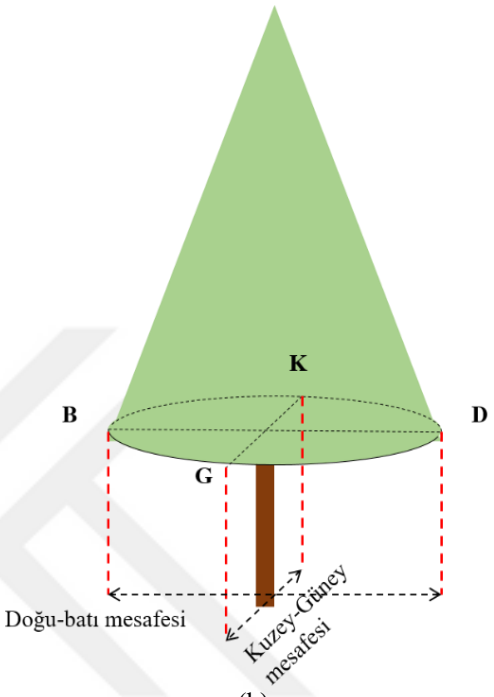
TÜR: Ağacın bulunduğu meşcere adı ve ağaç türünün adı yazılmıştır.

GÖVDE ÇAPI: Ağaç gövdesinin yerden 1,30 metre yüksekliğindeki çapını ifade etmektedir. Yerden 1,30 metre yükseklikteki ağaç gövdesi şerit metreyle ölçülerek gövde çapı bulunmuştur. (Şekil 3.11 a).

TAÇ GENİŞLİĞİ: Kuzey-güney ve doğu-batı olmak üzere iki yöndeki canlı taç genişliğini ifade eder. Tacın kuzey yönündeki canlı dallarının en uç noktasının iz düşümü ile güney yönüne uzanan canlı dallarının en uç noktasının yere iz düşümü arasındaki mesafe şerit metreyle ölçülerek bulunmuştur. Aynı yöntem doğu-batı yönü içinde uygulanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.11 a) Gövde çapı ölçümü (Lowry 2022) ; **b)** Taç genişliği ölçümü şeması

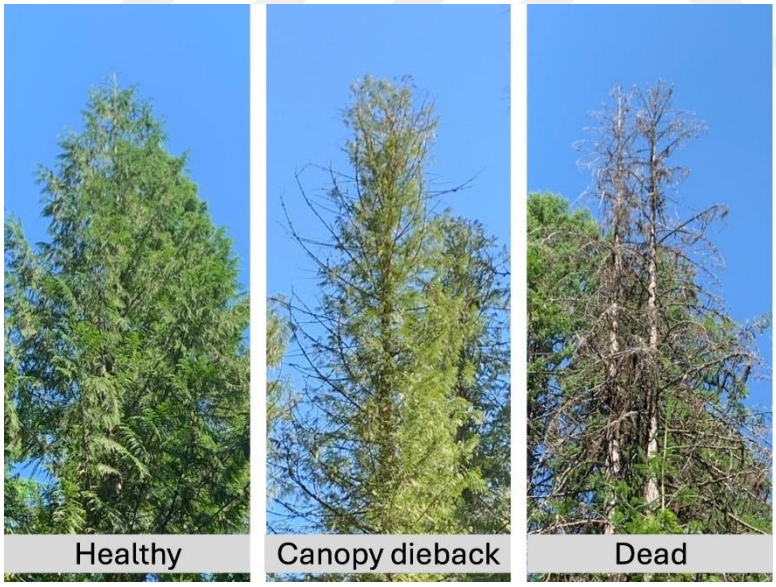
TAÇ SAĞLIĞI VE IŞIK MARUZİYETİ

Dieback (taç sağlığı): Hastalık veya iklim koşulları nedeniyle bir bitki sürgününün uç kısmından başlayarak kahverengileşmesi ve ölmesidir (Şekil 3.12). Taç sağlığı bir ağacın tepesindeki ölü dal miktarının görsel değerlendirmesine dayanır. Tahmin yoluyla ölü dallardan oluşan taç miktarı % olarak ölçülmektedir. Bir bina veya başka bir ağacın gölgelemesi nedeniyle tacın yanlarında veya tepesinde meydana gelen dal kurumalarını içerir. Tacın alt kısmındaki gölgelenme nedeniyle kendi kendine kuruyan dalları içermez. 22 adet taç sağlığı sınıfı bulunmaktadır (Çizelge 3.7). Bu sınıflandırmaya göre örneklem alanlardaki her bir ağaç için taç sağlığı % si belirlenmiştir.

Taç kaybı: Taç hacminin yüzdesini ifade etmektedir. Ölçüm yapılan ağaç "olması gereken tipik taç taslağına sahip" bir siluet olarak düşünülmektedir. Bu siluet, ağacın ölçülen genişliğinin merkez noktası etrafında oluşan ve mükemmel durumdaki sağlıklı bir ağaçmış gibi yapraklarla dolu simetrik bir taç olarak hayal edilmektedir. Bu dama, yaprak dökümü, düzensiz taç, küçük veya seyrek yapraklar nedeniyle eksik olan yaprak yüzdesi tahmin edilir. Belirli türler için doğal taç şekli dikkate alınır. Mevcut taçta eksik yoksa değer % 0, ağaç ölüyse değer % 100 olarak yazılır.

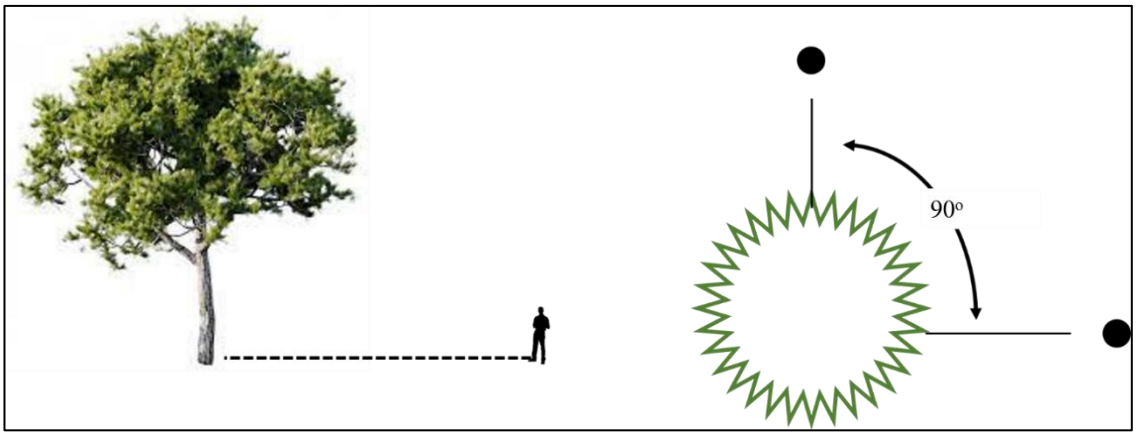
Çizelge 3.7. Dieback sınıfları

sınıf	% dieback
1	0
2	- 5
3	6 - 10
4	11 -15
5	16 - 20
6	21 - 25
7	26 - 30
8	31- 35
9	36 - 40
10	41 - 45
11	46 - 50
12	51 - 55
13	56 - 60
14	61 - 65
15	66 - 70
16	71 - 75
17	76 - 80
18	81 - 85
19	86 - 90
20	91 - 95
21	96 - 99
22	100



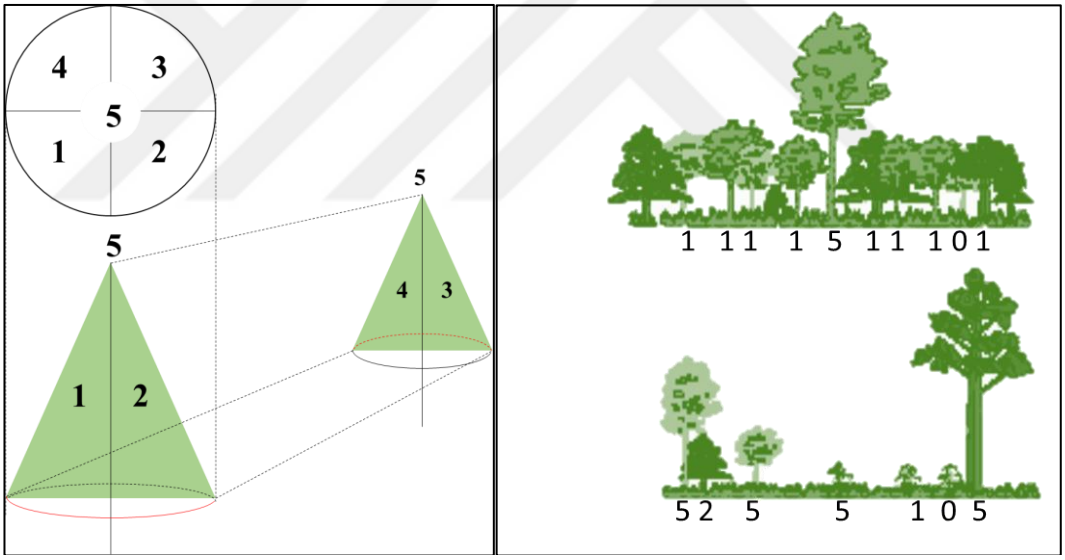
Şekil 3.12. Taç sağlığı görünümleri (Andrus 2024*)*

Ölçüm yapılırken ağacın ilk dallandığı noktadan itibaren taç yüksekliği dikkate alınmıştır. Eksik tepe tacı, ölçüm yapılacak ağacın boyu veya boyunun yarısı kadar uzaklıkta, ağaca dik açılarla duran iki kişi tarafından tahmin yolu ile ölçülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Taç kaybı ölçümü şeması (USDA Forest Service 2006)

Tacın ışık alımı: Ağacın tacının yukarıdan veya yandan ışık alan taraflarının sayısını ifade etmektedir. Ağacın tepesi bir kenar olarak sayılır. Diğer dört kenar, taca dikey olarak gövdenin etrafında dört çeyreğe bölünmesiyle belirlenir (Şekil 3.14 a). Ağacın ışık alımı belirlenirken ağaç tacının yakınındaki nesneler dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.14 a). Tacın ışık alımının belirlenmesi; **(b)** ışık maruziyeti örnekleri (USDA Forest Service 2006'den uyarlanmıştır.)

Ölçümü görsel değerlendirmeye dayanmaktadır. Ağacın ışık alımının belirlenmesinde 0 ila 5 aralığındaki rakamlar kullanılır. Ağaç eğer ölü ise hiçbir değer kullanılmaz (Şekil 3 14 b).

- 0: Sarmaşıklar veya diğer bitki örtüsü/nesneler tarafından gölgelenen ağaç doğrudan ışık almadığı için bu değer kullanılır.
- 1: Ağaç 5 tarafın 1'inden doğrudan ışık alır.

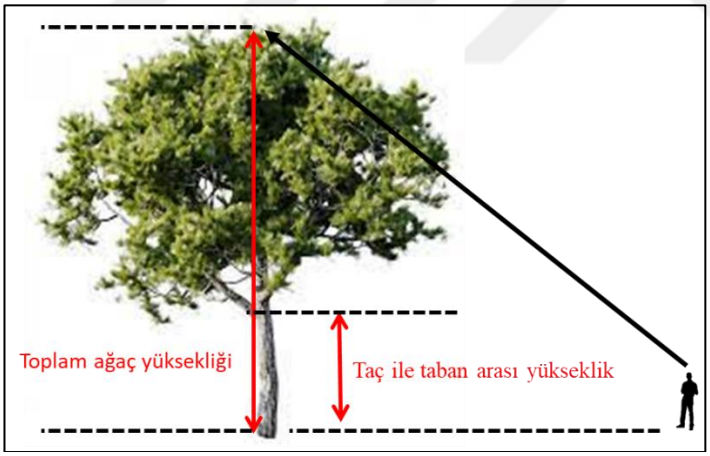
- 2: Ağaç 5 tarafın 2'sinden doğrudan ışık alır.
- 3: Ağaç 5 tarafın 3'ünden doğrudan ışık alır.
- 4: Ağaç 5 tarafın 4'ünden doğrudan ışık alır.
- 5: Ağaç 5 tarafından da doğrudan ışık alır.

AĞAÇ YÜKSEKLİKLERİ

Toplam ağaç yüksekliği (m): Zeminden ağacın tepesine kadar olan yüksekliği ifade eder. Ölçüm ağaca bir ağaç boyu mesafeden, lazer metre aracılığıyla, ağaç tacının en üst noktasından zemine kadar olan mesafeyi ölçme şeklinde yapılmıştır (Şekil 3.15).

Canlı ağaç yüksekliği (m): Yerden ağacın canlı tepesine kadar olan yükseklikliktir. Ağaç tacının tepesi ölü değilse bu yükseklik toplam ağaç yüksekliği ile aynı olacaktır. Ölçüm yöntemi toplam ağaç yüksekliği ile aynıdır.

Taç ile taban arası yükseklik (m): Yerden canlı tacın tabanına kadar olan yüksekliği ifade eder. Canlı taç tabanı, ana gövde üzerinde, canlı taca dahil olan yeşil yapraklı son daldır. Canlı taç tabanı, bir dalın ana gövdeyle kesiştiği noktaya göre değil, canlı yapraklara göre belirlenir. Bu nedenle, taç tabanı yere temas ediyorsa, değer sıfırdır. Bu ölçüm yine ağaca bir ağaç boyu mesafeden lazer metre yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Ağaç yüksekliği ölçümü şeması

ENERJİ ETKİLERİ

Ağaç -bina arası mesafe (m): Ağaçtan binanın en yakın kısmına olan en kısa mesafe ölçülerek bulunur. Bu çalışmada Kepez Kent Ormanı'nda bulunan tek katlı kütüphane binasına maksimum 18 m uzaklıktaki ve minimum 6 m yüksekliğindeki ağaçların binaya olan kısa mesafesi m cinsinden ölçülmüştür.

Ağacın binaya yönü: Ağaçtan binanın en yakın kısmına olan yönü azimut derece cinsinden ölçülerek bulunur. Bu çalışmada Kepez Kent Ormanı'nda bulunan tek katlı

kütüphane binasına maksimum 18 m uzaklıktaki ve minimum 6 m yüksekliğindeki ağaçların yönü azimut derece cinsinden belirlenmiştir.

BAKIM VE ÇEVRE ETKİLERİ

Bakım önerisi: Ağacın boyutuna göre acile ya da rutin olarak gerekli bakımı ifade etmektedir. 6 adet bakım öneri sınıfı bulunmaktadır (Çizelge 3.8). Ölçümü gözleme dayalıdır. Örneklem alanlarındaki her bir ağacın durumuna göre gözleme dayalı olarak bakım sınıfı belirlenmiştir.

Bakım görevleri: Ağacın ne tür bir bakıma ihtiyacı olduğunu ifade etmektedir. 8 adet bakım görevi sınıfı bulunmaktadır. Ölçümü gözleme dayalıdır (Çizelge 3.8). Örneklem alanlarındaki her bir ağacın durumuna göre gözleme dayalı olarak bakım sınıfı belirlenmiştir.

Çizelge 3.8. Bakım önerisi ve bakım görevleri sınıfları

Bakım önerisi sınıfları		**Bakım görevi sınıfları**	
1	Yok	**1**	Yok
2	Küçük ağaç (rutin)	**2**	Biçimsel bu dama (Genç ağaçlardaki kusurlu strüktürün düzeltilmesi)
3	Küçük ağaç (acil)	**3**	Genel taç temizliği (ölü, hastalıklı, istila edilmiş, sürtünen, azalan, kopan ve/veya kırılan dallar varsa bunların budanması)
4	Büyük ağaç (rutin)	**4**	Taç yükseltme (tacın altında dikey boşluk sağlamak için dalların budanması)
5	Büyük ağaç (acil)	**5**	Taç küçültme (dal uzunluğunu veya bitki yüksekliğini ve/veya yayılmasını azaltma)
6	Kritik endişe (kamusal güvenlik)	**6**	Bölgesel taç temizleme (tacın belirli bir bölgesinde kesim, temizleme işlemi)
		7	Kesme
		8	Zararlı veya hastalık tedavisi

Sert zemin ile bağlantısı: Ağacın birinci dereceden kökleri ile çevresindeki sert zemin/kaldırıma verdiği zararı ifade eder ve 3 sınıf vardır (Çizelge 3.9). Ölçümü gözleme dayalıdır. Örneklem alanlarındaki her bir ağacın durumuna göre gözleme dayalı olarak bakım sınıfı belirlenmiştir.

Çevre ile bağlantısı: Ağaç dalları ve elektrik hatları arasında olası veya mevcut çakışmaları ifade eder ve 3 sınıf vardır (Çizelge 3.9). Ölçümü gözleme dayalıdır. Örneklem alanlarındaki her bir ağacın durumuna göre gözleme dayalı olarak bakım sınıfı belirlenmiştir.

Çizelge 3.9. Sert zemin ve çevre ile bağlantı sınıfları

Sert zemin ile bağlantı sınıfları		Çevre ile bağlantı sınıfları	
1	0-1,9 cm	**1**	Hat yok
2	1.9 cm-3.81 cm	**2**	Mevcut ve potansiyel çakışma yok
3	>3,81 cm	**3**	Mevcut veya olası çakışma var

Türkiye ile ilgili değerlerin belirlenmesi

İ-Tree Eco programında Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ın karbon tutma ve depolama, enerji tasarrufuna katkısı, hava kirliliğini azaltma ve önlenen yüzey akışının ekonomik değerinin hesaplanmasında ulusal birim değerler kullanılmıştır.

Karbon Birim değeri:

Türkiye'de herhangi bir karbon vergisi uygulaması yoktur ancak Türkiye Kyoto Protokolünde bahsedilen ''karbon kredisi'' alışverişinde bulunmaktadır. Protokolü imzalayan ülkeler zorunlu piyasaya tabi olurken, Türkiye gibi protokolü imzalamayıp azaltım taahhüdünde bulunan ülkeler gönüllü piyasaya tabi olmuştur. Böylelikle kotalarını aşmak istemeyen gelişmiş ülkeler ve çevresel duyarlılıklarını göstermek isteyen kuruluşlar ile Türkiye gibi protokolü imzalamamış olan gönüllü ülkeler arasında karbon kredisi alışverişi yapılmaktadır (Carbon gate 2025).

2026 yılı itibariyle gönüllü karbon piyasasında karbon kredisi fiyatları proje türü ve kaliteye bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmektedir. 2025 yılı ortalama fiyatı yaklaşık 6 $/ton CO_2 civarında iken, 2026 yılı için doğa temelli projelerde karbon kredisi fiyatlarının genellikle 7–24 $/ton CO_2 aralığında gerçekleştiği, yüksek kaliteli kredilerde ise bu değerlerin 15–35 $/ton CO_2 seviyelerine kadar çıkabildiği belirtilmektedir (Orme 2026).

Karbon depolamanın ekonomik değeri hesaplanırken gönüllü karbon piyasasında 2026 yılı için doğa temelli projelerde geçerli olan 7–24 $/ton CO_2 fiyat aralığı esas alınmıştır. Bu değerler karbon birimine dönüştürülerek (Denklem 3.4 ve Denklem 3.5) yaklaşık 1108 TL/ton C değeri elde edilmiş (Denklem 3.6) ve ekonomik değer hesaplamalarında kullanılmıştır :

$$1\ ton\ C\ = 3{,}67\ \text{ton}\ CO_2 \tag{3.4}$$

$$7 \times 3{,}67\ = 25{,}69\ \$/\text{ton C} \tag{3.5}$$

$$25{,}69 \times 43{,}13\ TL(1\$)\ = 1108\ TL/ton\ C \tag{3.6}$$

Bu çalışmada i-Tree'de karbon depolama ve karbon tutma değerleri hesaplanırken birim karbon fiyatı, ton başına 1.108 TL değeri temel alınmıştır.

Enerji Birim değeri:

i-Tree Eco'da ağaç yüksekliği 6 m'den kısa veya binaya mesafesi 18 m'den

fazla olan ağaçların bina enerji kullanımı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı kabul edildiğinden ağaçların enerji tasarrufuna etkileri bu çalışmada sadece Kepez Kent Ormanı'ndaki tek katlı kütüphane binası çevresindeki ağaçlar için hesaplanabilmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen binada ısıtma ve soğutma yalnızca elektrikle çalışan klima sistemi ile sağlandığından, enerji tasarrufu değerlendirmelerinde i-Tree model çıktılarından MWh (megavat saat) cinsinden verilen elektrik enerji tasarrufu değerleri kullanılmıştır. MBtu (Bir milyon İngiliz termal birimi) birimi yakıt temelli ısıtma sistemlerini temsil ettiğinden bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir. Bu çalışma için KWh başına birim enerji fiyatı Mart 2025 yılına göre 4,35 Türk lirası (EPDK, 2025) olarak alınmıştır.

Hava kirliliği birim değeri:

i-Tree Eco modelinde hava kirliliği gideriminin ekonomik değeri, ABD için, US Environmental Protection Agency (EPA) tarafından geliştirilen Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP) modeli kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak ABD dışındaki ülkeler için model, ya Avrupa medyan dışsallık değerlerine (van Essen vd. 2011) ya da BenMAP çıktılarından türetilmiş birim değerlerin ülkeye özgü sosyo-ekonomik göstergeler (gelir düzeyi, nüfus vb.) kullanılarak uyarlanması prensibine (Nowak vd. 2014) dayanmaktadır. Değerler daha sonra kullanıcı tanımlı döviz kurları ile yerel para birimine çevrilir.

Türkiye için elde edilen birim değerler, doğrudan BenMAP çıktısı olmayıp, bu modelden türetilmiş ve yerel koşullara göre ölçeklendirilmiş değerlerdir. Bu çalışmada kirlilik giderme değeri i-Tree programı tarafından $PM_{2.5}$ için ton başına 11.065.751 TL, PM_{10} için 2.447.524 TL fiyatlarına göre hesaplanmıştır. Programda kirlilik ile ilişkili ulusal değerlerin girilebileceği bir alan olmadığından, i-Tree'de Avrupa medyan dışsallık değerlerinden türetilen ve yerel koşullara göre ölçeklenen değerler, birim zarar maliyeti değerleridir.

Önlenen yüzey akışı birim değeri:

i-Tree 'de yıllık önlenen yüzey akışının parasal değeri hesaplanırken net önlenen akış (S) ile m^3 başına birim para değeri çarpılır.

Antalya ili 2025 yılı "Resmi Daireler ve Belediyeler, Hayır Kurumu, Dernek ve Vakıflar" için su birim fiyatı 26,54 ₺/m^3 olup KDV (% 1) ile 26,8054 ₺/m^3 'tür (ASAT 2025). Atık su bedeli ise su bedelinin % 50'si (ASAT, 2024) olarak KDV (% 8) dahil 14,3262 ₺/m^3'tür. Atık su bedeli dahil su satış fiyatı 26,8054 + 14,3262=41,13 ₺/m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada önlenen yüzey akışının parasal değeri hesaplanırken, m^3 başına birim para değeri 41,13 TL olarak alınmıştır.

5.aşama:

Saha verileri toplandıktan sonra beşinci aşamada önce Google Engine Programı kullanılarak Sentinel-2 L2A Uydusu, 31.05. 2025 tarihli görüntüler üzerinden hem Zeytin Park hem de Kepez Kent Ormanı için NDVI değer aralıkları oluşturulmuş ve her bir meşcerenin geçirimli ve geçirimsiz yer örtüsü ile bitki örtüsü kaplı alanlarının

oranları hesaplanmış ve i-Tree'ye girilmiştir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Çalışma alanlarında geçirimli, geçirimsiz ve bitki örtüsü alanlarının dağılımı

ALAN	Meşcere*)	Toplam Alan (m^2)	Geçirimsiz Yer Örtüsü		Geçirimli Yer Örtüsü		Bitki Örtüsü	
			Alan (m^2)	Oran (%)	Alan (m^2)	Oran (%)	Alan (m^2)	Oran (%)
KEPEZ KENT ORMANI	**Çzab3**	24.470	**3.766**	**15**	**3.009**	**12**	**1.7695**	**72**
	Çzb3	3.865	399	10	2.300	60	1.166	30
	Çzbc3	49.730	390	1	14.540	29	34.800	70
	Çzc2	29.614	951	3	4.508	15	24.155	82
	Çfc2	16.045	1.427	9	2.110	13	12.507	78
	Çzcd1	24.361	767	3	2.896	12	20.699	85
	Çzcd2	202.873	8.344	4	80.140	40	114.389	56
	Çzcd3	313.491	32.298	10	113.573	36	167.621	53
	Çzd1	426.376	36.867	9	190.969	45	198.540	47
	Çzd2	43.103	7.017	16	10.037	23	26.048	60
	Çzd3	477.894	55.982	12	86.186	18	335.727	70
	Tüm alan	**1.611.822**	**161.182**	**10**	**499.665**	**31**	**950.975**	**59**
ZEYTİN PARK	**Z1**	659.974	1.152	0,17	267.805	41	391.017	59
	Z2	427.822	1.047	0,24	145.092	34	281.683	66
	Z3	58.927	0	0	9.332	16	49.595	84
	Tüm alan	**1.146.723**	**1.605**	**0,14**	**789.633**	**69**	**355.484**	**31**

*) Meşcere tanımları için Bkz. Sayfa 47)

i-Tree veri tabanına eklenen Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park birer proje olarak Eco'ya tanımlanmıştır. Her iki çalışma alanında da örneklem alanlardan ölçümler yapıldığı için Eco'da proje türü "plot inventory" olarak seçilmiştir. Her bir projenin konumu i-Tree Eco programından ülke-bölge-şehir-nüfus ve km^2 başına düşen nüfus miktarı olacak şekilde programa girilmiştir (Çizelge 3.11). Ardından hava ve kirlilik verilerinin yılı, proje için kullanılan hava istasyonu ve yağış kaynağı ile ilgili bilgiler programa girilmiştir (Çizelge 3.12). Daha sonra sahadan toplanan ve Eco'ya girilecek veri değişkenleri belirlenmiştir (Çizelge 3.13). Çalışma alanlarında yer alan meşcereler stratum denilen katmanları ve bu meşcerelerdeki örneklem alanlar ise plotu oluşturmuştur. Her bir plot yani örneklem alan için sahada ölçüm yapılan ağaç verileri ve her bir ağacın bulunduğu meşceredeki bitki örtüsü kaplı alanın oranı ile bitki örtüsü ile kaplı olmayan alanın geçirimli ve geçirimsiz zemin oranı i-Tree'ye girilmiştir.

Çizelge 3.11. Her bir çalışma alanı için i-Tree Eco'da istenen konum bilgileri

Konum bilgileri	açıklama
Ülke	Çalışma alanının yer aldığı ülke girilir.
Bölge	Çalışma alanının yer aldığı bölge girilir.
İl	Çalışma alanının yer aldığı il girilir.
İlçe	Çalışma alanının yer aldığı ilçe girilir.
Nüfus	Çalışma alanının yer aldığı ilçe nüfusu girilir.
Km^2 başına nüfus	Çalışma alanının yer aldığı ilçede km^2 başına düşen nüfus girilir.

Çizelge 3.12. Her bir çalışma alanı için i-Tree Eco'da istenen hava ve kirlilik bilgileri

Konum bilgileri	açıklama
Hava ve kirlilik verilerinin yılı	Analiz için kullanılacak hava ve kirlilik verisinin toplandığı yıl girilir.
Hava istasyonu	Haritadan kullanılacak hava istasyonu seçilir
Yağış kaynağı	Burada GPM (uydudan ölçüm) veya NCEI (meteoroloji istasyonundan ölçüm) 'den biri tercih edilir. Bu çalışmada NCEI seçilmiştir.
Kirlilik türü seçimi	Seçilen istasyondan analizde kullanılacak kirlilik türleri (NO_2, SO_2, CO, O_3, PM_{10}, $PM_{2.5}$) seçilir.

Çizelge 3.13. Her bir çalışma alanı için i-Tree Eco'ya girişi yapılan saha veri değişkenleri

Veri değişkenleri		Açıklama	Zeytin Park	Kepez Kent Ormanı
PARSEL BİLGİLERİ				
Ölçülen Yüzde		Proje alanının ölçülen örneklem alan miktarı	% 2,3	% 2, 05
Yüzde ağaç örtüsü		Proje alanının ağaç örtüsüyle kaplı alanı	% 31	% 59,8
Arazi kullanımı	**Arazi kullanım türleri**	Sahada görülen arazi kullanım türleri (tarım, ticari/endüstriyel, mezarlık, orman, golf sahası, kurumsal, çok aileli konut, diğer, park, yerleşim, toplu taşıma, kamu hizmet kuruluşu, boş, su/sulak alan)	Park	Orman
	Arazi yüzdesi	Arazi kullanım türlerinin her bir örneklem alandaki % miktarları	Tüm örneklem alanlar park olduğundan % 100 olarak alınmıştır.	Tüm örneklem alanlar orman olduğundan % 100 olarak alınmıştır.
Zemin örtüsü	**zemin örtüsü**	Sahadaki zemin örtüsü türleri (Yapı, beton, asfalt, kaya, toprak, malç, ot, çim, bakımsız çim, su, diğer geçirimsiz)	ot, diğer geçirimsiz	Toprak, diğer geçirimsiz, çim, yapı,
	parsel yüzdesi	her bir zemin örtüsünün örneklem alan içindeki % miktarı	Her bir örneklem alandaki zemin örtüsü %'leri yazılmıştır.	
Harita koordinatları		Çalışma alanının merkezinin enlem ve boylamı		
AĞAÇ BİLGİLERİ				
Türler		Örneklem alanlardaki her bir ağacın tür adı yazılır.	Zeytin	Kızılçam, fıstıkçamı
Gövde çapı		Örneklem alanlarındaki her bir ağacın yerden 1.30 m yükseklikteki gövde çapı	286 adet ağacın gövde çapı ölçümü girilmiştir.	452 adet ağacın gövde çapı ölçümü girilmiştir.

(Devamı Arkada)

Arazi kullanımı		Ağacın bulunduğu arazi kullanım türü	park	Orman
Durum		Ağacın dikildiği veya kendiliğinden yetiştiği durumu	dikim	
Kamu/özel		Her bir ağacın belediye tarafından yönetilen(kamu) veya yönetilmeyen(özel) olarak sınıflandırılması	kamu	
Taç altı örtü durumu	**% geçirimsiz**	Ağacın taç izdüşümü altındaki alanın % kaçının geçirimsiz olduğu	örneklem alanlardaki her bir ağaç için geçirimsiz zemin % 'si	
	% çalı	Ağacın taç izdüşümü altındaki alanın % kaçının çalı olduğu	örneklem alanlardaki her bir ağaç taç altının çalı % 'si	
Ağaç detayları				
Toplam ağaç yüksekliği		Yer seviyesinden ağacın tepesine (canlı veya ölü) kadar olan yükseklik	Çizelge 3.2'de ki her iki sahadan toplanan veriler bu alana girilmiştir.	
Taç boyutu	**Canlı taç yüksekliği**	Yerden ağacın canlı tepesine kadar olan yükseklik		
	Taç tabanı yüksekliği	Yerden canlı taç tabanına kadar olan yükseklik		
	Taç genişliği	Kuzey-güney ve doğu-batı olmak üzere iki yöndeki taç genişliği		
	Eksik taç % 'si	Ağaç tacının dalları ve yaprakları tarafından kaplanmayan hacminin % 'si		
Taç sağlığı	**Dieback**	Ağacın taç kısmının ölü dallardan oluşan % 'sinin tahmini		
Taç ışığına maruziyet		Ağacın yukarıdan güneş ışığı alan taraflarının sayısı (en fazla 5)		
Enerji	**Yön**	Ağaçtan binanın en yakın kısmına doğru yön	Zeytin Park'ta enerji tasarrufu hesabı yapılmadığından bu alan boş bırakılmıştır.	4 numaralı örneklem alanındaki kütüphane binasının çevresindeki ağaçlar için bu bölüm doldurulmuştur.
	Mesafe	Ağaçtan binanın en yakın noktasına olan en kısa mesafe		
Alan Yönetimi				
Bakım önerisi		Kullanıcı tarafından tanımlanan ağaç için genel bakım önerileri (örneğin Rutin budama)	Ölçüm yapılan ağaçlarda herhangi bir bakım önerisinde bulunulmamıştır.	Ölçüm yapılan ağaçlarda genellikle bakım önerisi olmamakla beraber birkaç küçük ağaçta bakıma ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir.

(Devamı Arkada)

Bakım görevi	Kullanıcı tarafından ağaç için öncelikli bakım görevleri (Örneğin Haşere kontrolü)	Ölçüm yapılan ağaçlarda genellikle bakıma gerek olmadığı, bazı ağaçların taç yükseltme, biçimlendirici bu dama ve taç temizleme gibi ihtiyaçları olduğu gözlemlenmiştir.	Ölçüm yapılan ağaçlarda genellikle bakıma gerek olmadığı, bazı ağaçların taç yükseltme ve taç temizleme gibi ihtiyaçları olduğu gözlemlenmiştir.
Kaldırım ile bağlantısı	Yakınındaki ağaçların kaldırımlara verdiği hasarın boyutu kullanıcı tarafından belirlenir.	İki çalışma alanında da kaldırım bulunmadığından tüm ağaçlar için 0 olarak girilmiştir (Çizelge 3.5).	
Çevresi ile bağlantısı	Kullanıcı tarafından tanımlanan, ağaç dalları ve elektrik hatları arasındaki potansiyel veya mevcut çakışmalar	Alanlarda elektrik hattı olmadığından, ölçüm yapılan tüm ağaçlar için çakışma olmadığı kabul edilmiştir (Çizelge 3.5).	

6.aşama:

Saha verilerinin i-Tree Eco'ya girişi yapıldıktan sonra, son aşamada Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park çalışma alanlarında belirlenen örneklem alanlardaki ağaçların bazı yapısal özelliklerinin ekosistem hizmetleri üzerindeki etkileri istatistiksel analizler ile incelenmiştir. Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

Ağaçlara ait gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği taç genişliği ve taç örtü alanı gibi bağımsız değişkenlerin; karbon depolama, karbon tutulumu, önlenen yüzey akışı, hava kirliliğinin azaltılması ve oksijen üretimi gibi ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ile değişkenler arasındaki ilişkilerin yönü ve büyüklüğü ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında iki farklı fonksiyon türü ele alınmıştır. Bunlar doğrusal model ($Y=b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 +\ldots+ b_nX_n$) fonksiyon ve çift logaritmik model fonksiyon ($\ln(Y) = b_0+b_1\ln(X_1) +b_2 \ln (X_2) +\ldots+b_n \ln (X_n)$)'dur. Model performansı düzeltilmiş R^2 değerleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Düzeltilmiş R^2 değeri yüksek olan model kullanılarak her bağımsız değişkenin, bağımlı değişken ile ilişkisi ve modeldeki katsayıları belirlenmiştir.

Ağaç özelliklerinin gruplandırılarak ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Bu bağlamda her bir bağımsız değişken (gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı) belirli gruplara ayrılmış ve bu gruplar arasında ekosistem hizmetlerinin ortalama değerleri karşılaştırılmıştır.

ANOVA sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunması durumunda, farkın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek amacıyla Tukey HSD ve LSD çoklu karşılaştırma testleri uygulanmıştır. Bu testler sayesinde gruplar arasındaki ikili farklılıklar detaylı olarak analiz edilmiştir.

Ayrıca Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park çalışma alanlarının sağladıkları ekosistem hizmetlerinin karşılaştırılması amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Bu analiz ile iki farklı alanın ekosistem hizmetleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterip göstermediği belirlenmiştir.

4. BULGULAR

Çalışma alanları Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ın sağladığı ekosistem hizmetleri ve bu hizmetlerin ekonomik değeri hesaplanmış, daha sonra iki alan verileri karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

4.1. Kepez Kent Ormanı

Kepez Kent Ormanı için i-Tree Eco'da yapılan analizler sonucunda alanın ağaç örtüsü oranının % 52,8 ve toplam ağaç sayısının 21.850 olduğu belirlenmiştir. Meşcerelere göre ağaç sayıları ve alandaki % oranları Çizelge 4.1'de verilmiş olup en fazla ağaç sayısına sahip meşcere 6.137 adet ağaçla Çzd3 meşceresi olup alandaki oranı % 28'dir. Onu sırasıyla 4.744 adet ağaçla alanda % 21,7 orana sahip Çzd1 ve 3.429 adet ağaçla alanda % 15,7 orana sahip Çzcd3 meşceresi izlemektedir. En az ağaç sayısına sahip meşcere ise 146 ağaç ile alanda % 0,7 orana sahip Çzb3 meşceresidir (Çizelge 4.1).

Meşcereler	Ağaç sayısı	Oran (%)
Çfc2	277	1,0
Çzd2	593	2,7
Çzd3	6.137	28,1
Çzab3	368	1,7
Çzb3	146	0,7
Çzbc3	2.609	11,9
Çzc2	839	3,8
Çzcd1	275	1,3
Çzcd2	2.486	11,4
Çzcd3	3.429	15,7
Çzd1	4.744	21,7
Tüm alan	21.850	100

Çizelge 4.1. Kepez Kent Ormanı'ndaki meşcerelerin alandaki oranı ve ağaç sayıları

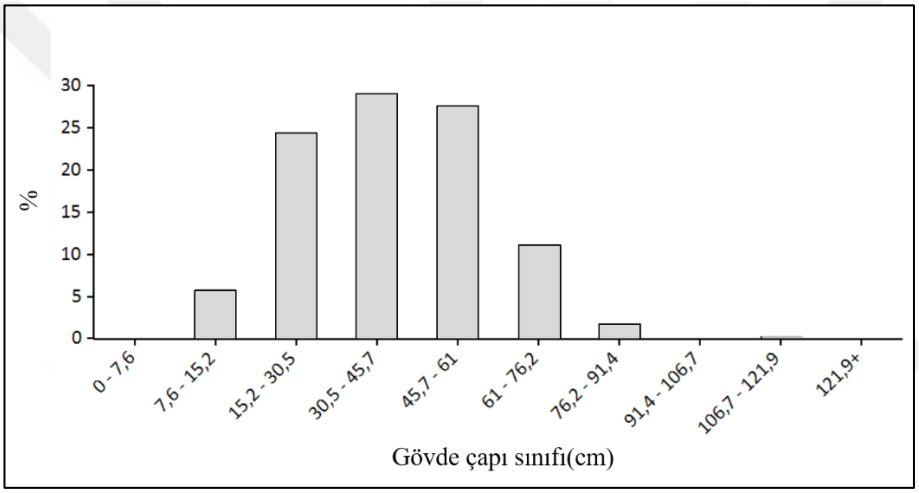
Meşcerelere göre en fazla ağaç yoğunluğu hektar başına 525 ağaç ile Çzbc3 meşceresinde olup onu sırasıyla hektar başına 375 ağaç ile ile Çzb3 ve hektar başına 283,3 ağaç ile Çzc2 meşceresi izlemiştir. Tüm alanın ağaç yoğunluğu ise hektar başına 119 ağaç olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Ağaçlar gövde çaplarına göre sınıflandırıldığında 30 ila 46 cm aralığında olan ağaçların % 30 oranla en yoğun olduğu, onu sırasıyla 46 ila 61 cm aralığındaki ağaçlar ve 15 ile 30 cm aralığında olan ağaçlar izlemiştir. Çapı 15,2 cm'den küçük ağaçların oranı ise % 6 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).

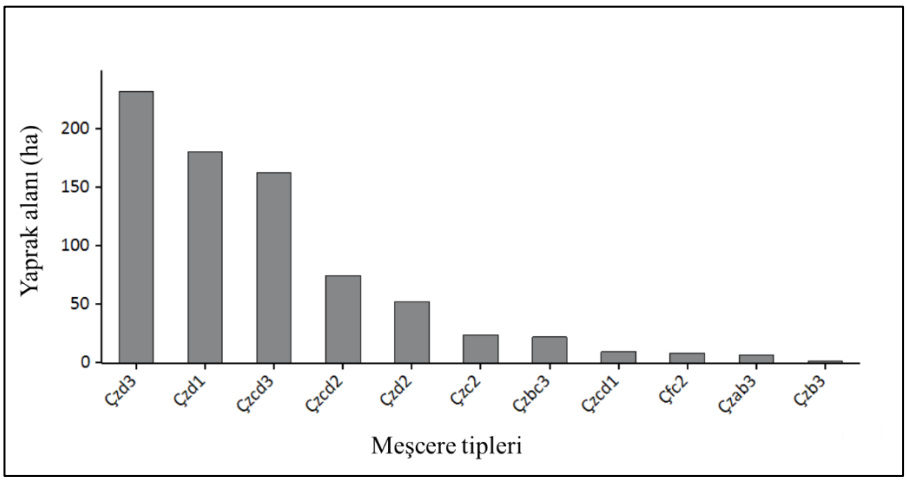
Kepez Kent Ormanı'nın yaklaşık % 60'ını ağaçlar kaplamakta ve 774,9 hektarlık yaprak alanı sağlamaktadır. Toplam yaprak alanı en fazla Çzd3'te olup onu sırasıyla Çzd1 ve Çzcd3 izlemektedir (Şekil 4.2).

Meşcereler	Ağaç yoğunluğu (ağaç sayısı/ha)
Çfc2	141,7
Çzd2	137,5
Çzd3	128,4
Çzab3	150,0
Çzb3	375,0
Çzbc3	525,0
Çzc2	283,3
Çzcd1	112,5
Çzcd2	122,5
Çzcd3	109,4
Çzd1	111,3
Tüm alan	118,8

Çizelge 4.2. Meşcere sınıflarında hektar başına ağaç sayısı (ağaç yoğunluğu)



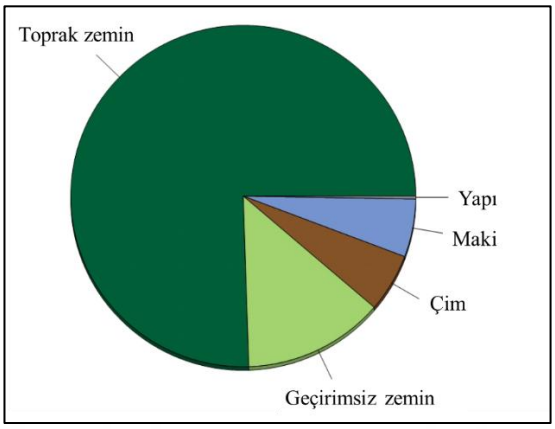
Şekil 4.1. Çap sınıfına göre Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaç popülasyonunun yüzdesi



Şekil 4.2. Kepez Kent Ormanı'ndaki meşcerelerin kapladıkları yaprak alanı

Kepez Kent Ormanı'ndaki yaygın zemin örtüsü sınıfları (ağaç ve çalı altındaki

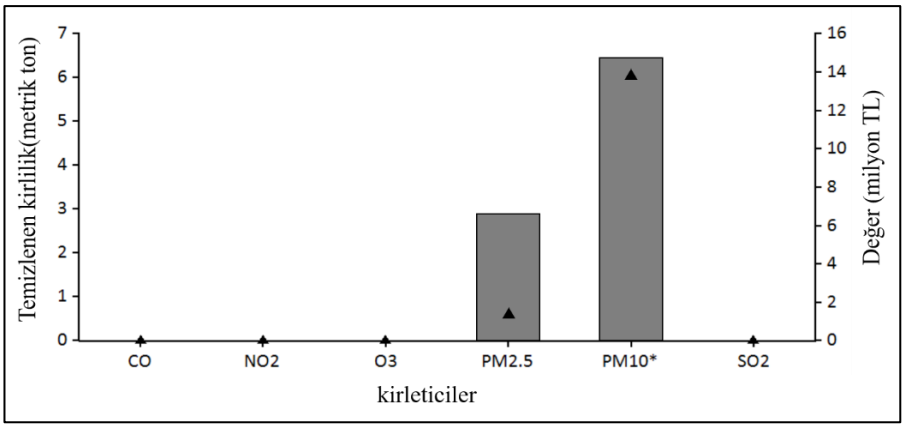
örtü tipleri dahil) arasında toprak, geçirimsiz yüzeyler, makilik alan, çim alan ve yapılardır. En baskın toprak örtüsü tipleri % 75,5 oranla toprak zemin ve % 13,2 oranla geçirimsiz zemindir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kepez Kent Ormanı zemin örtüsü sınıflarına göre arazi yüzdesi

4.1.1. Kirlilik giderimi

Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaç ve çalıların kirlilik giderme kapasitesi, saha verileri ve mevcut son kirlilik ve hava durumu verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. İ-Tree programına yüklenen veriler çerçevesinde Kepez Kent Ormanı'nın kirlilik giderme kapasitesi PM_{10} için en yüksek seviyede bulunmuştur (Şekil 4.4). Kent Ormanı'ndaki ağaçların yılda 6,62 metrik ton $PM_{2.5}$ (2,5 mikrondan küçük partikül madde) ve PM_{10}'u (2,5 mikrondan büyük ve 10 mikrondan küçük partikül madde) giderdiği ve bunun parasal karşılığının 21 milyon Türk lirası (486.900 Amerikan doları) olduğu hesaplanmıştır (Çizelge 4.9). Giderilen kirlilik miktarı ağaç başına 0,0003 ton (0,3 kg), ha başına 0,077 ton (77 kg) olarak hesaplanmıştır. Analizde kirlilik giderme değerleri metrik ton başına 2,5 mikrondan küçük partikül madde için 11.065.751 TL ve 10 mikrondan küçük partikül madde için 2.447.524 TL fiyatlarına göre hesaplanmıştır (Kirlilik hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. Sayfa 62-63).



Şekil 4.4. Kepez Kent Ormanı'ndaki yıllık kirlilik giderimi (oklar) ve değerleri (çubuklar)

Kepez Kent Ormanı'nda meşcereler bazında yıllık kirlilik giderimine bakıldığında en yüksek giderimin yılda 1,98 ton ile Çzd3 meşceresinde olduğu, onu sırasıyla 1,54 ton ile Çzd1 ve 1,39 ton ile Çzcd3 meşcerelerinin izlediği görülmüştür. En az kirlilik giderimi ise yılda 0,01 ton ile oranla Çzb3 meşceresinde görülmüştür (Çizelge 4.7)

Meşcereler	Yıllık kirlilik giderimi (ton/yıl)
Çfc2	0,07
Çzd2	0,45
Çzd3	1,98
Çzab3	0,06
Çzb3	0,01
Çzbc3	0,19
Çzc2	0,21
Çzcd1	0,08
Çzcd2	0,64
Çzcd3	1,39
Çzd1	1,54
Tüm alan	6,60

Çizelge 4.3. Meşcerelere göre yıllık giderilen kirlilik miktarları

4.1.2. Karbon tutma ve karbon depolama

Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçların tahmini olarak 8.745,9 metrik ton karbon depoladığı ve bunun 9 milyon Türk lirasına (208.672 Amerikan doları) denk geldiği hesaplanmıştır. Depolanan karbon, ağaç biyokütlesinde depolanan saf karbon miktarı olup bunun karbon miktarının atmosferdeki karşılığı CO_2 eşdeğeridir. Kepez Kent Ormanı'nda meşcereler bazında depolanan karbon ve CO_2 eşdeğeri de analiz edilmiştir. Depolanan CO_2 miktarı 32.067,9 tondur. Ağaç başına depolanan karbon miktarı 0,4 ton, hektar başına depolanan karbon miktarı 102,4 ton (102.400 kg) dur. Hektar başına depolanan CO_2 miktarı ise 375,4 ton (375.400 kg) dur (Çizelge 4.4). Analizde karbon tutma ve depolama değerleri metrik ton başına 1.108 TL fiyatına göre hesaplanmıştır (Karbon hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. Sayfa 63).

Ağaç meşecereleri arasında en yüksek karbon depolaması % 39 oranla Çzd3 meşceresinde olup onu sırasıyla % 23 ile Çzcd3 ve % 21 ile Çzd1 meşcereleri izlemiştir. En az karbon depolama ise % 0,2 oranla Çzb3 meşceresinde görülmüştür (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.5)

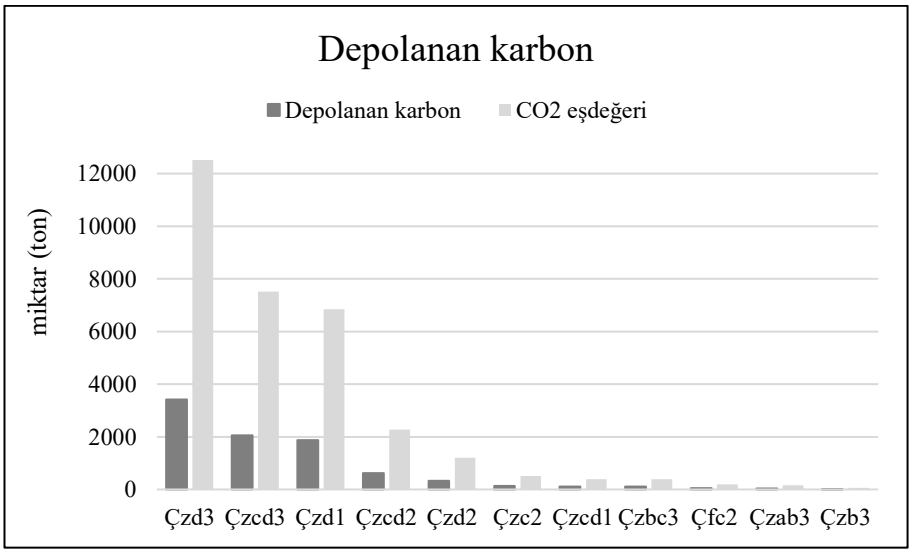
Kepez Kent Ormanı'nda hektar başına depolanan karbon miktarı ve bunun CO_2 eşdeğerine bakıldığında Çzd2 meşceresinin 76.004 kg ile ilk sırada yer aldığı onu sırasıyla 71.550 kg ile Çzd3 ve 65.409 kg ile Çzcd3'ün izlediği görülmüştür (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.6).

Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçların brüt karbon tutulumu 454,1 ton olup 503.143 Türk lirasına (11.666 Amerikan doları) denk gelmektedir. Net karbon tutulumu 446,1 ton, CO_2 tutulumu ise 1.635,86 tondur. Ağaç başına net karbon tutulumu ise 0,02 ton, hektar başına net karbon tutulumu 5,2 tondur. Hektar başına tutulan CO_2 miktarı

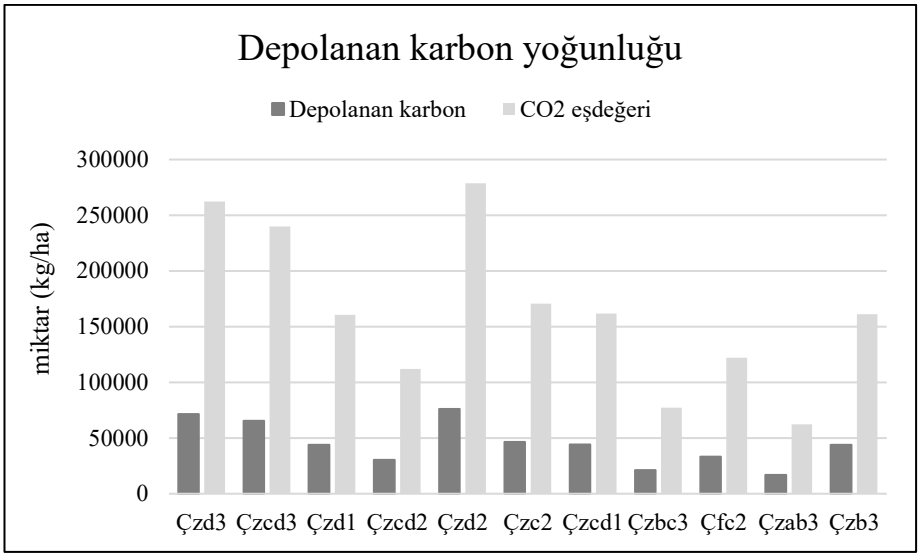
19,15 tondur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.4. Meşcerelere göre depolanan karbon, depolanan karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri

Meşcereler	Depolanan karbon (ton)	Depolanan karbon oranı (%)	CO_2 eşdeğeri (ton)	Depolanan karbon yoğunluğu (kg/ha)	CO_2 eşdeğeri (kg/ha)
Çzd3	3.419,4	39,0	12.537,7	71.550,0	262.373,7
Çzcd3	2.050,6	23,0	7.518,7	65.408,6	239.853,4
Çzd1	1.866,9	21,0	6.845,2	43.782,4	160.550,1
Çzcd2	619,2	7,0	2.270,6	30.519,7	111.915,6
Çzd2	327,6	4,0	1.201,1	76.003,7	278.705,6
Çzc2	137,8	2,0	505,1	46.540,2	170.662,9
Çzcd1	107,6	1,0	394,5	44.089,6	161.676,6
Çzbc3	104,7	1,0	384,0	21.072,4	77.272,4
Çfc2	53,3	0,9	195,5	33.321,7	122.190,5
Çzab3	41,6	0,7	152,6	16.985,6	62.286,1
Çzb3	17,2	0,4	62,9	43.979,2	161.271,8
Tüm alan	**8.745,9**	**100**	**32.067,9**	**102.400**	**375.400**

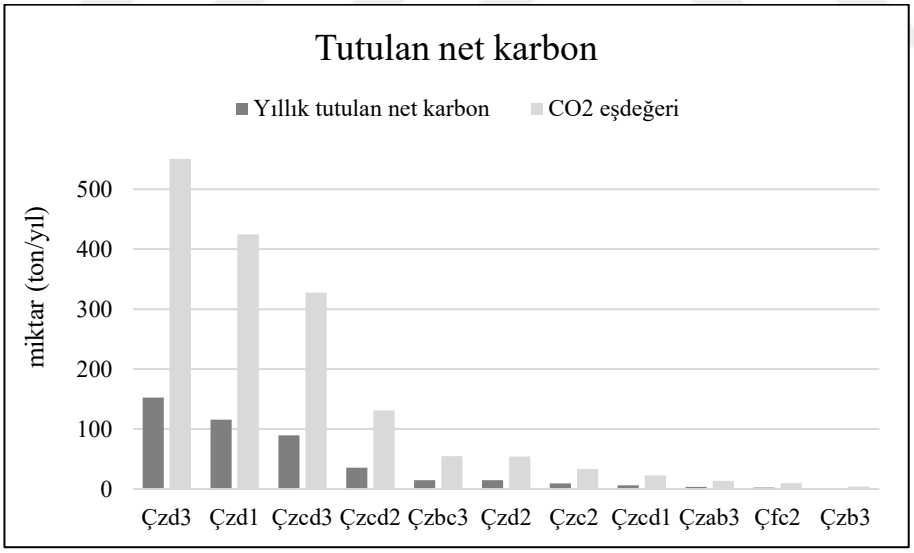


Şekil 4.5. Meşcerelere göre depolanan karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği



Şekil 4.6. Meşcerelere göre hektar başına depolanan karbon (karbon yoğunluğu) ve CO_2 eşdeğeri grafiği

Kepez Kent Ormanı'nda yıllık tutulan net karbon miktarına bakıldığında Çzd3 meşceresinin yılda 153 ton ile ilk sırada yer aldığı ve onu sırasıyla 116 ton ile Çzd1 ve 89 ton ile Çzcd3'ün izlediği görülmüştür. Ağaç meşcereleri arasında yıllık net karbon tutulumunun en az olduğu meşcerenin ise yılda 1,12 ton ile Çzb3 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.7).

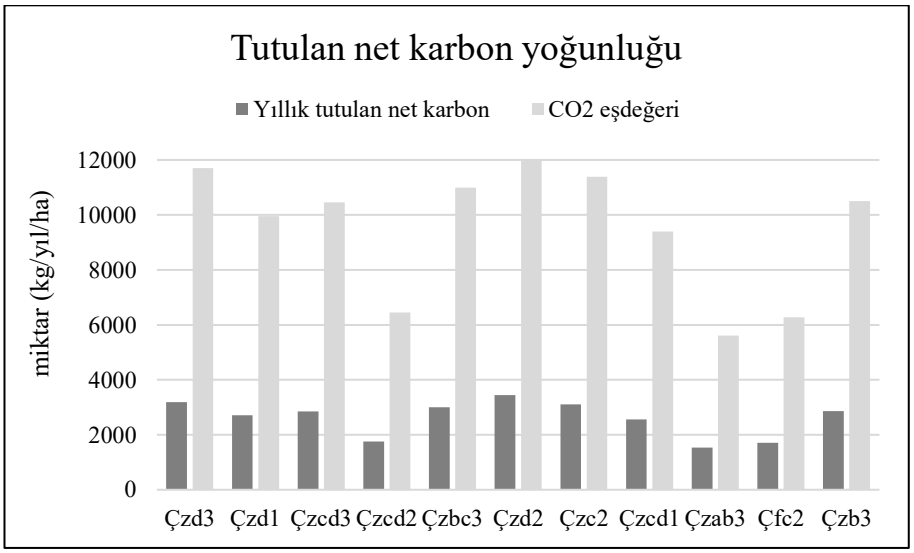


Şekil 4.7. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği

Kepez Kent Ormanı meşcerelerinde hektar başına yıllık tutulan net karbon miktarına bakıldığında Çzd2 meşceresinin yılda hektar başına 3.439 kg ile ilk sırada olduğu, onu sırasıyla 3.190 kg ile Çzd3 ve 3.107 kg ile Çzc2 meşceresinin izlediği görülmektedir. Ağaç meşcereleri arasında hektar başına yıllık net karbon tutulumunun en az olduğu meşcerenin ise yılda 1.530 kg ile Çzab3 meşceresinin olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.8).

Çizelge 4.5. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon, net karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri

Meşcereler	Yıllık tutulan net karbon (ton/yıl)	CO_2 eşdeğeri (ton/yıl)	Yıllık tutulan net karbon yoğunluğu (kg/yıl/ha)	CO_2 eşdeğeri (kg/yıl/ha)
Çzd3	152,46	559,06	3.190,14	11.698,23
Çzd1	115,78	424,56	2.715,23	9.956,74
Çzcd3	89,39	327,80	2.851,46	10.456,29
Çzcd2	35,71	130,96	1.760,18	6.454,57
Çzbc3	14,89	54,62	2.996,98	10.989,92
Çzd2	14,82	54,35	3.438,96	12.610,67
Çzc2	9,20	33,72	3.106,57	11.391,78
Çzcd1	6,25	22,92	2.562,13	9.395,33
Çzab3	3,75	13,75	1.529,92	5.610,21
Çfc2	2,74	10,03	1.710,19	6.271,28
Çzb3	1,12	4,09	2.862,79	10.497,84
Tüm alan	**446,10**	**1.635,86**	**5.200**	**19.150**



Şekil 4.8. Meşcerelere göre hektar başına yıllık tutulan net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği

4.1.3. Önlenen yüzey akışı ve hidrolojik etkiler

Ağaçlar yağışı tutarken, kök sistemleri infiltrasyon ve depolamayı destekler. Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçlar yıllık 786 mm'lik yağışın tahmini 877 m^3 yüzey akışını azaltmaya yardımcı olmuş olup, bunun değeri 36.053 Türk lirası (836 Amerikan doları) dır (Çizelge 4.6). Ağaç başına önlenen yüzey akışı 0,04 m^3, hektar başına ise 10,3 $m^{3'}$tür. Analizde önlenen akış değeri m^3 başına 41,13 TL fiyatına göre hesaplanmıştır (Önlenen yüzey akış hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. syf. 64).

Çizelge 4.6. Meşcerelerin Kepez Kent Ormanı'ndaki hidrolojik etkileri

Meşcere	Ağaç sayısı	Yaprak alanı (ha)	Potansiyel evapotranspirasyon (m^3/yıl)	Evaporasyon (m^3 /yıl)	Transpirasyon (m^3 /yıl)	Kanopide tutulan su (m^3 /yıl)	Önlenen yüzey akışı (m^3 /yıl)	Önlenen akış değeri (TL/yıl)
Çzd3	6.137	232	189.781	22.814	40.620,1	22.813,5	262,6	10.802
Çzd1	4.744	180	147.374	17.716	31.543,4	17.715,8	203,9	8.388
Çzcd3	3.429	163	132.959	15.983	28.458,1	15.983,0	184,0	7.568
Çzcd2	2.486	75	61.052	7.339	13.067,3	7.339,0	84,5	3.475
Çzd2	593	53	42.889	5.156	9.179,8	5.155,7	59,4	2.441
Çzc2	839	24	19.678	2.366	4.211,8	2.365,5	27,2	1.120
Çzbc3	2.609	22	18.049	2.170	3.863,1	2.169,6	25,0	1.027
Çzcd1	275	10	7.819	940	1.673,6	940,0	10,8	445
Çfc2	227	8	6.790	816	3.924,0	816,2	9,4	387
Çzab3	368	7	5.781	695	1.237,3	694,9	8,0	329
Çzb3	146	2	1.250	150	267,6	150,3	1,7	71
Total	21.850	775	633.422	76.144	138.046	76.143,5	876,6	36.053

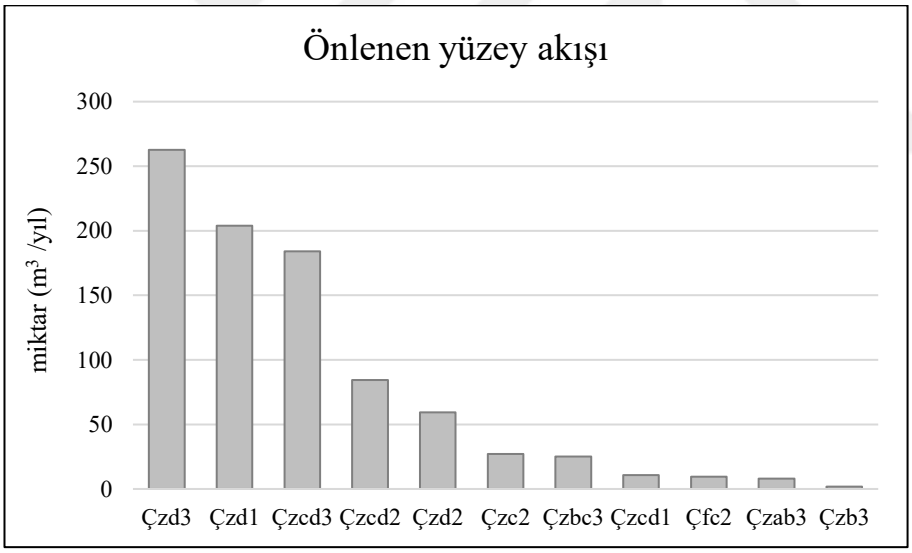
Kepez Kent Ormanı meşcerelerini yıllık potansiyel evapotranspirasyon bakımından karşılaştırdığımızda en yüksek değer yılda 189.781 m^3 ile Çzd3 meşceresinde görülmekte olup onu sırasıyla 147.374 m^3 ile Çzd1 ve 132.959 m^3 ile Çzcd3 izlemektedir. Ağaç meşcereleri arasında yıllık en düşük potansiyel evapotranspirasyon değeri ise yılda 1.250 m^3 ile Çzb3 meşceresinde görülmektedir. Tüm alanın yıllık toplam potansiyel evapotranspirasyon değeri ise 633.422 m^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6).

Yıllık evaporasyon bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en yüksek değer

yılda 22.814 m^3 ile Çzd3 meşceresi olup onu sırasıyla 17.716 m^3 ile Çzd1 ve 15.983 m^3 ile Çzcd3 izlemektedir. Ağaç meşcereleri arasında yıllık en düşük evaporasyon değeri ise yılda 150 m^3 ile Çzb3 meşceresinde görülmektedir. Tüm alanın yıllık toplam evaporasyon değeri ise 76.144 m^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6). i-Tree Eco'da her bir meşcere için kanopide tutulan su değeri evaporasyon değeri ile aynıdır. Bunun nedeni kanopide tutulan suyun çok kısa sürede buharlaşmasıdır. Dolayısıyla yıllık toplam kanopide tutulan su değeri yıllık toplam evaporasyon değeri ile aynıdır (Çizelge 4.6).

Yıllık transpirasyon bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en yüksek değer yılda 40.620 m^3 ile Çzd3 meşceresi olup onu sırasıyla 31.543 m^3 ile Çzd1 ve 28.458 m^3 ile Çzcd3 izlemektedir. Ağaç meşcereleri arasında yıllık en düşük transpirasyon değeri ise yılda 268 m^3 ile Çzb3 meşceresinde görülmektedir. Tüm alanın yıllık toplam transpirasyon değeri ise 138 046 m^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6).

Yıllık önlenen yüzey akışı bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en fazla yüzey akışının yılda 263 m^3 ile Çzd3 meşceresi olup onu sırasıyla 204 m^3 ile Çzd1 ve 184 m^3 ile Çzcd3 izlemektedir (Şekil 4.9). Ağaç meşcereleri arasında en düşük yıllık önlenen yüzey akışı 1,73 m^3 ile Çzb3 meşceresinde görülmektedir. Tüm alanın yıllık yüzey akışı önleme değeri ise 877 m^3 olup değeri ise 36.053 Türk lirası (836 Amerikan doları) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6).



Şekil 4.9. Meşcerelere göre yıllık önlenen yüzey akışı grafiği

4.1.4. Oksijen üretimi

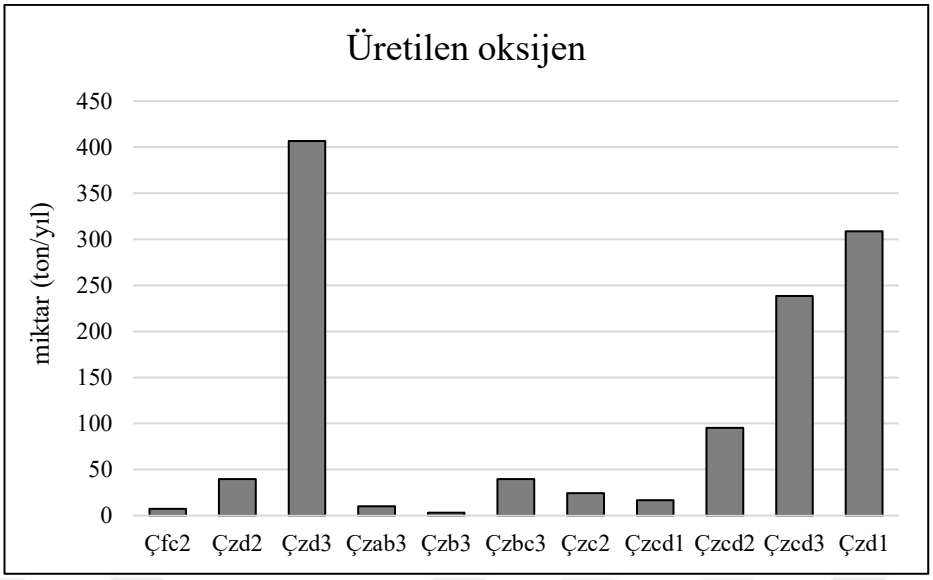
Ağaçların en sık dile getirilen faydalarından biri oksijen üretimidir. Bir ağacın yıllık net oksijen üretimi ağaç tarafından tutulan karbon miktarı ile doğrudan ilişkilidir ve bu da ağaç biyokütlesinin birikimiyle bağlantılıdır. Kepez Kent Ormanı ağaçlarının yılda 1.190 metrik ton oksijen ürettiği tahmin edilmiştir (Çizelge 4.7). Bu rakam ağaç başına 0,055 ton (55 kg), hektar başına ise 13,9 ton (13.900 kg) dur.

Çizelge 4.7. Meşcere bazında, yıllık oksijen üretimi ve hektar başına üretilen oksijen yoğunluğu

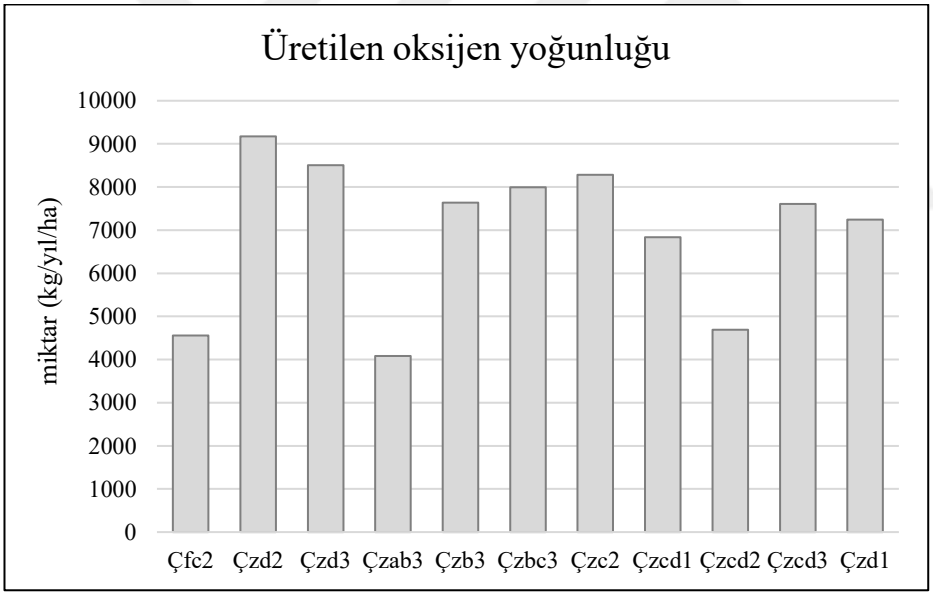
Meşcereler	Yıllık oksijen üretimi (ton/yıl)	Yıllık oksijen üretimi yoğunluğu (kg/yıl/ha)
Çfc2	7,3	4.560,5
Çzd2	39,5	9.170,6
Çzd3	406,6	8.507,0
Çzab3	10,0	4.079,8
Çzb3	3,0	7.634,1
Çzbc3	39,7	7.991,9
Çzc2	24,5	8 .284,2
Çzcd1	16,7	6.832,3
Çzcd2	95,2	4.693,8
Çzcd3	238,4	7.603,9
Çzd1	308,7	7.240, 6
Tüm alan	1.189,6	13.900

Yıllık üretilen oksijen bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en fazla oksijen üreten meşcere yılda 407 ton ile Çzd3 meşceresi olup onu sırasıyla 309 ton ile Çzd1 ve 238 ton ile Çzcd3 izlemektedir. Ağaç meşcereleri arasında yıllık en düşük oksijen üretimi ise yılda 3 ton ile Çzb3 meşceresinde görülmektedir (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.10). Tür bazlı oksijen üretimine baktığımızda 21.624 ağaç sayısı ile alanın % 99'unu kaplayan *Pinus brutia* türünün yılda 1.182 ton, 227 ağaç sayısı le alanın% 1'ini kaplayan *Pinus pinea* türünün yılda 7 ton oksijen ürettiği hesaplanmıştır.

Kepez Kent Ormanı meşcerelerinde hektar başına yıllık üretilen oksijen miktarına bakıldığında Çzd2 meşceresinin yılda hektar başına 9.171 kg ile ilk sırada olduğu, onu sırasıyla 8.507 kg ile Çzd3 ve 8.284 kg ile Çzc2 meşceresinin izlediği görülmektedir. Ağaç meşcereleri arasında hektar başına yıllık oksijen üretiminin en az olduğu meşcerenin ise yılda 4.080 kg ile Çzab3 meşceresinin olduğu belirlenmiştir. Tüm çalışma alanında ise hektar başına yıllık üretilen oksijen miktarı 6.468 kg olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.10. Meşcerelere göre yıllık oksijen üretimi grafiği



Şekil 4.11. Meşcerelere göre hektar başına yıllık oksijen üretimi grafiği

4.1.5. Enerji tasarrufu

Ağaçlar binaları gölgeleyerek, buharlaşma yoluyla soğutma sağlayarak ve kış rüzgarlarını engelleyerek enerji tüketimini etkilemektedir. Ağaçlar yaz aylarında binaların enerji tüketimini azaltma eğilimindeyken, kış aylarında bina enerji kullanımını bina çevresindeki konumlarına bağlı olarak artırabilir veya azaltabilir. Ağaçların enerji kullanımı üzerindeki etkilerine ilişkin tahminler, iklimlendirilmiş konut binalarına olan ağaç mesafesi ve yönünün saha ölçümlerine dayanmaktadır (McPherson ve Simpson 1999).

Isınma veya soğutma için kullanılan elektrik sonucu CO_2 salınımı olur. Ağaçların sağladığı enerji tasarrufu sayesinde, azalan enerji talebi ve dolayısıyla ister soğutma ister ısıtma için enerjinin üretiminden kaynaklanan CO_2 emisyonlarının azalması anlamına gelir. Bu nedenle i-Tree Eco enerji tasarrufunu hesaplarken önlenen karbon emisyon değerini de tahmin etmektedir. Bu bağlamda Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçların, konut binalarının enerjiyle ilgili maliyetlerini yıllık 178.976 TL (4.150 $) azaltmanın yanında elektrik üretimi için fosil yakıtlı enerji santrallerinin saldığı karbon emisyonunda 13 metrik ton azalma sağlayarak enerji tasarrufuna 14.404 TL (334 $) ek değer sağladığı hesaplanmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Bina yakınındaki ağaçların sağladığı yıllık enerji tasarrufu ve ekonomik değeri

MWH	Yıllık enerji tasarrufu (MWH)	Yıllık enerji tasarrufunun değeri (TL)	Yıllık enerji tasarrufunun değeri ($)	Önlenen karbon miktarı (metrik ton)	Önlenen karbonun değeri (TL)	Önlenen karbonun değeri ($)
ısıtma	6	25.984	602	5	5.540	128
soğutma	34	149.652	3.470	8	8.864	206
TOPLAM	40	175.636	4.072	13	14.404	334

MWH-megavat saat, MWH başına 4350 TL fiyatları esas alınmıştır (Enerji tasarrufu hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. Sayfa 64).

Alandaki yıllık toplam kirlilik gideriminin yılda 6,62 metrik ton olup ekonomik değerinin 21 milyon Türk lirasına (487 Amerikan doları) denk geldiği, karbon depolamanın yılda 8.746 metrik ton olup ekonomik değerinin 9 milyon Türk lirasına (208.672 Amerikan doları) denk geldiği, karbon tutulumunun 454,1 metrik ton olup ekonomik değerinin 503.143 Türk lirasına (11.666 Amerikan doları) denk geldiği, önlenen yüzey akışının yılda 876,6 m^3 olup 36.100 Türk lirasına (837 Amerikan doları) denk geldiği, oksijen üretiminin yılda 1.190 metrik ton olduğu ve orman içinde bulunan yaklaşık 100 m^2 'lik tek katlı kütüphane binasında da enerji tasarrufunun yılda 190.040 Türk lirası (4.406 Amerikan doları) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçlar tarafından sağlanan tüm bu ekosistem hizmetleri bağlamında sağlanan yıllık toplam fayda 22.029.183 TL (510.762 $) olarak hesaplanmıştır. Kepez Kent Ormanı'nda yılık maliyetler 68.650 TL (1.592 $) hesaplanmış olup, bu değer toplam faydadan çıkarılarak net yıllık fayda 21.960.533 TL (509.171 $) olarak hesaplanmıştır. Yıllık maliyetler "Metot" bölümü "Çizelge 3.1" de verilen yıllık bakım giderleri kullanılarak hesaplanmıştır (Bkz syf. 44). Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçların sağladığı ekosistem hizmetlerinin yıllık net ekonomik faydası ağaç başına 1.005,1 TL (23,3 $), kişi başına ise 35,76 TL (0,8 $) olarak hesaplanmıştır. Yıllık fayda maliyet oranı ise 320,9 olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.9. Kepez Kent Ormanı'ndaki meşcereler bazında ve tüm alanda sağlanan yıllık fayda ve değerleri

Meşcere	Ağaç sayısı	SAĞLANAN FAYDA											
		Karbon depolama			Net karbon tutulumu			Önlenen yüzey akışı			Kirlilik giderimi		
		ton	TL	Amerikan Doları	ton/yıl	TL/yıl	Amerikan Doları	m^3/yıl	TL/yıl	Amerikan Doları	ton/yıl	TL/yıl	Amerikan Doları
Çfc2	227	53,31	59.067	1.370	2,74	3.036	70	9,40	386	9	0,07	228.294	5.293
Çzd2	593	327,58	362.959	8.415	14,82	16.421	381	59,35	2.441	57	0,45	1.442.014	33.434
Çzd3	6.137	3.419,37	3.788.662	87.843	152,46	168.926	3.917	262,63	10.802	250	1,98	6.380.810	147.944
Çzab3	368	41,61	46.104	1.069	3,75	4.155	96	8,00	329	8	0,06	194.357	4.506
Çzb3	146	17,15	19.002	441	1,12	1.241	29	1,73	71	2	0,01	42.040	975
Çzbc3	2.609	104,73	116.041	2.690	14,89	16.498	383	24,98	1.027	24	0,19	606.834	14.070
Çzc2	839	137,76	152.638	3.539	9,20	10.194	236	27,23	1.120	26	0,21	661.617	15.340
Çzcd1	275	107,58	119.199	2.764	6,25	6.925	161	10,82	445	10	0,08	262.903	6.096
Çzcd2	2.486	619,24	686.118	15.908	35,71	39.567	917	84,49	3.475	81	0,64	2.052.676	47.593
Çzcd3	3.429	2.050,56	2.272.020	52.678	89,39	99.044	2.296	183,99	7.568	175	1,39	4.470.341	103.648
Çzd1	4.744	1.866,88	2.068.503	47.960	115,78	128.284	2.974	203,94	8.388	194	1,54	4.954.994	114.885
Tüm alan	**21.853**	**8.745,77**	**9.690.313**	**224.677**	**446,11**	**494.290**	**11.461**	**876,56**	**22.809**	**529**	**6,62**	**21.296.880**	**493.783**

15 Mart 2026 tarihli döviz kuru (1 $=43,13 TL) baz alınmıştır.

Çizelge 4.10. Kepez Kent Ormanı'ndaki toplam sağlanan yıllık fayda ve değerleri

Faydalar	Toplam (TL)	Toplam ($)	TL/Ağaç	TL/Kişi
Enerji	190.040	4.406	8,7	0,30
Net Karbon tutulumu	503.143	11.666	23,0	0,80
Giderilen kirlilik	21.300.000	493.856	974,8	34,70
Önlenen yüzey akışı	36.000	835	1,7	0,06
Toplam yıllık fayda	**22.029.183**	**510.762**	**1.008,2**	**35,86**
Maliyetler				
Bu dama	18.826	436	0,86	0,03
Riskli ağaç kesimi	30.029	696	1,37	0,05
Ağaç kaldırma	11.203	260	0,51	0,02
Zararlı-hastalık yönetimi	4.296	100	0,20	0,01
Sağlık durumu değerlendirmesi, riskli ağaç tespiti, ağaç envanteri güncelleme,	4.296	100	0,20	0,01
Toplam yıllık maliyetler	**68.650**	**1.592**	**3,14**	**0,12**
Net yıllık fayda	**21.960.533**	**509.171**	**1.005,1**	**35,76**
Fayda maliyet oranı	**320,9**			

15 Mart 2026 tarihli döviz kuru (1 $=43,13 TL) baz alınmıştır.

4.1.6. Kepez Kent Ormanı'nın depoladığı karbon miktarının fonksiyonel analizi

Kepez Kent Ormanı'nın depoladığı karbon miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir (Çizelge 4.11).

Yatay kesit verilerine dayalı çalışmalarda açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyonun tam olması önemli bir sorun olarak görülmektedir (Yılmaz vd. 2020). Ancak bağımsız değişkenlerden taç genişliği ve taç örtü alanı arasında tam (1,000) bir korelasyon gözlemlenmektedir (Çizelge 4.11). Bunun nedeni taç örtü alanının, taç genişliği kullanılarak hesaplanmasıdır. Bir başka deyişle birbirine çok bağlı değişkenlerdir. Bu nedenle bu iki değişkenden sadece taç örtü alanı dahil edilerek, fonksiyon tahmin edilmiştir. Açıklayıcı değişkenlerin sayısını azaltmak için stepwise tekniği kullanılmıştır.

Çizelge 4.11. Kepez Kent Ormanı depolanan karbon miktarı ile ağaç özellikleri aralarındaki Pearson korelasyon ilişkileri

Pearson Korelasyonu	Depolanan karbon	Gövde çapı	Ağaç yüksekliği	Taç yüksekliği	Taç genişliği	Taç örtü alanı
Depolanan karbon	1,000					
Gövde çapı	,998	1,000				
Ağaç yüksekliği	,991	,995	1,000			
Taç yüksekliği	,967	,972	,977	1,000		
Taç genişliği	,994	,991	,982	,959	1,000	1,000
Taç örtü alanı	,993	,990	,980	,957	1,000	1,000

*Katsayılar başlangıç noktası üzerinden hesaplanmıştır.

Her iki regresyon modeli uygulanırken de Stepweise kullanılarak karbon depolama miktarı üzerinde açıklayıcılığı yüksek olan değişkenlerin modele dahil edilmesi sağlanmıştır. Karbon depolama miktarı üzerinde etkili bağımsız değişkenlerin analizinde doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış ve logaritmik modelin daha yüksek açıklama gücüne sahip olduğu belirlenmiştir. Logaritmik modelde düzeltilmiş R^2 değerleri 0,996 – 0,999 arasında değişirken, doğrusal modelde bu değerler 0,861- 0,916 arasında kalmıştır (Çizelge 4.12). Bu nedenle karbon depolama miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır.

Çizelge 4.12. Kepez Kent Ormanı depolanan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X1	,928[a]	,861	,861	X1	,998[a]	,996	,996
2	X1,X2	,950[c]	,903	,903	X1, X3	,999[b]	,998	,998
3	X1,X2,X3	,957[d]	,915	,915	X1, X3, X4	,999[c]	,998	,998
4	X1,X2,X3,X4	,957[e]	,916	,916	X1, X3, X4, X2	,999[d]	,999	,999

*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan depolanan karbon miktarının, sayısal değerini vermektedir. Depolanan karbon miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız

olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terim sıfır varsayılarak modeller tekrar tahmin edilmiştir.

Model tahmininde sabit terimle ilgili herhangi bir kısıtlama olmadığında çizelge 4.13'da görüldüğü gibi sabit terim -3,106 ile -2.847 arasında değerler almaktadır. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.13. Kepez Kent Ormanı'nda depolanan karbon miktarı için sabit terim kısıtlanmadan elde edilen logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	Sabit terim	-2,847	,026	-109,343	,000
	X1: Gövde çapı	2,312	,007	326,276	,000
2	Sabit terim	-3,058	,021	-147,217	,000
	X1:Gövde çapı	2,225	,006	346,993	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,180	,008	21,486	,000
3	Sabit terim	-3,106	,018	-171,455	,000
	X1: Gövde çapı	2,231	,005	406,162	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,151	,008	20,144	,000
	X4:Taç yüksekliği	,053	,004	12,960	,000
4	Sabit terim	-3,025	,019	-163,319	,000
	X1: Gövde çapı	2,167	,008	261,239	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,160	,007	23,240	,000
	X4:Taç yüksekliği	,050	,004	13,334	,000
	X3: Taç örtü alanı	,034	,004	9,678	,000

Daha önce belirtildiği gibi özellikle tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması, bir başka deyişle açıklayıcı değişken ile bağımlı değişken arasında doğrusal bir ilişkinin olması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması, bir başka deyişle açıklayıcı değişken ile bağımlı değişken arasında ters yönlü bir ilişkinin olması anlamına gelmektedir.

Model 3'te taç yüksekliğinin, model 4'te taç yüksekliğine ilave olarak ağaç yüksekliği değişkeninin katsayıları negatif bulunmuştur. Negatif katsayılar, değişkenler arasındaki yüksek ilişki nedeniyle ortaya çıkan ortak açıklama etkisini yansıtabileceği gibi, özellikle sık dikim yapılan alanlarda ışık rekabeti sonucu bireylerin çap artışı yerine boy büyümesine yönelmesi ve taç gelişiminin sınırlanmasının da bir göstergesi olabilir. Nitekim yoğun meşcerelerde rekabetin bireysel ağaçların çap büyümesini

sınırlandırdığı ve seyreltme ile çap büyümesinin hızlandığı bildirilmiştir (Pretzsch, 2020). Ayrıca dikim yoğunluğunun taç yapısı ve bireysel ağaç büyümesini önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Zhao vd. 2020). Bu nedenle elde edilen negatif katsayıların, çalışma alanlarındaki rekabet koşulları ve meşcere yapısıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak bu çalışma alanındaki ağaçların sıklık durumunu belirleyen herhangi bir ölçüm yapılmadığından katsayıların negatif olduğu 3. ve 4. modeller kullanılmamıştır. Değerlendirme ve yorumlama için 2. Model esas alınmıştır. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Karbon depolama tahmininde en uygun modelin ağaç gövde çapı ve taç örtü alanını içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gövde çapı katsayısı 1,185 bulunmuştur. Bu gövde çapı 0,01 arttığında depolanan karbon miktarının 1,185 artacağını ifade etmektedir. Taç örtü alanı katsayısı ise 0,334 olarak bulunmuş olup, taç örtü alanı 0,01 arttığında depolanan karbon miktarının 0,334 artacağını ifade etmektedir (Çizelge 4.14).

Gövde çapı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, karbon depolama üzerinde en etkili bağımsız değişken ve taç örtü alanı ise ikinci derecede önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, ağaç yüksekliği ve taç yüksekliği değişkenlerinin modele eklenmesi, katsayı işaretlerinde değişime ve modelin açıklayıcılığında sınırlı artışa neden olmuştur (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Kepez Kent Ormanı'nda depolanan karbon miktarı için sabit terim sıfır alınarak oluşturulan logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	1,543	,004	350,115	,000
2	X1: Gövde çapı	1,185	,026	46,222	,000
	X3: Taç örtü alanı	,334	,024	14,095	,000
3	X1:Gövde çapı	1,269	,031	40,334	,000
	X3: Taç örtü alanı	,318	,024	13,538	,000
	X4: Taç yüksekliği	-,116	,026	-4,439	,000
4	X1: Gövde çapı	1,392	,053	26,297	,000
	X3: Taç örtü alanı	,297	,024	12,123	,000
	X4: Taç yüksekliği	-,085	,028	-2,990	,003
	X2: Ağaç yüksekliği	-,149	,052	-2,879	,004

4.1.6.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç ince çaplı gövde (1.grup), orta çaplı gövde (2. Grup) ve kalın çaplı gövde (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının

ortalaması 405 kg olup, standart sapma değeri 358,99'dur. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 19,2 kg, orta kalınlıktaki ağaçların 311 kg ve kalın ağaçların 1.133,08 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 16 ila 22 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 291 ila 331 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 1037 ila 1.229 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.15. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	15	19,173	4,97558	1,2847	16,4179	21,9287	10,20	26,80
2	380	311,141	198,82788	10,1997	291,0861	331,1961	31,60	846,30
3	57	1.133,077	362,07881	47,9585	1.037,005	1.229,1496	758,40	2.989,00
Total	452	405,103	358,98622	16,8853	371,9195	438,2867	10,20	2.989,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı grupları arasında C depolama değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Varyans analizi sonucu F değeri 359,97 olarak bulunmuş olup fark oldukça güçlüdür (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	35.796.033,946	2	17.898.016,973	359,967	,000
Grup içi	22.324.833,789	449	49.721,233		
Total	58.120.867,736	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-291,96772*	58,69918	,000	-429,9995	-153,9360
		3	-1.113,9039*	64,70743	,000	-1.266,064	-961,7436
	2	1	291,96772*	58,69918	,000	153,9360	429,9995
		3	-821,93614*	31,67251	,000	-896,4144	-747,4579
LSD	1	2	-291,96772*	58,69918	,000	-407,3270	-176,6085
		3	-1.113,9039*	64,70743	,000	-1.241,071	-986,7368
	2	1	291,96772*	58,69918	,000	176,6085	407,3270
		3	-821,93614*	31,67251	,000	-884,1809	-759,6914
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.6.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç kısa (1.grup), orta (2. Grup) ve uzun (3.grup) olmak üzere üç ağaç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 405 kg olup, standart sapma değeri 359'dur. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 145 kg, orta boylu ağaçların 329 kg ve uzun boylu ağaçların 659 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 117 ila 173 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 294 ila 364 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 594 ila 724 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç yüksekliği arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.18. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	93	145,268	136,55280	14,1599	117,1450	173,3905	12,00	692,10
2	203	328,942	250,57007	17,5866	294,2651	363,6187	10,20	1.488,60
3	156	659,112	411,14449	32,9179	594,0866	724,1378	43,50	2.989,00
Total	452	405,103	358,98622	16,8853	371,9195	438,2867	10,20	2.989,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği grupları arasında karbon depolama değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Varyans analizi sonucu F değeri 96,9 olarak bulunmuş olup fark oldukça güçlüdür (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	17.521.564,111	2	8.760.782,056	96,888	,000
Gruplar içi	40.599.303,624	449	90.421,612		
Total	58.120.867,736	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm ağaç yükseklik grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (kısa boylu ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (uzun boylu ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç yüksekliği arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	(J) Ağaç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-183,67413*	37,6524	,000	-272,2141	-95,1341
		3	-513,84444*	39,3942	,000	-606,4803	-421,2086
	2	1	183,67413*	37,6524	,000	95,1341	272,2141
		3	-330,17031*	32,0164	,000	-405,4573	-254,8833
LSD	1	2	-183,67413*	37,6524	,000	-257,6709	-109,6773
		3	-513,84444*	39,3942	,000	-591,2643	-436,4246
	2	1	183,67413*	37,6524	,000	109,6773	257,6709
		3	-330,17031*	32,0164	,000	-393,0910	-267,2496
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.6.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç düşük taç (1.grup), orta taç (2. Grup) ve yüksek taç (3.grup) olmak üzere üç adet ağaç taç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge

4.21'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 405 kg olup, standart sapma değeri 359'dur. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 324 kg, orta taçlı ağaçların 391 kg ve yüksek taçlı ağaçların 497 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 273,5 ila 375 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 347 ila 435 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 418 ila 577 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç yüksekliği arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.21. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	90	324,154	241,79299	25,4872	273,5119	374,7970	10,20	970,00
2	245	390,932	347,51529	22,2019	347,2003	434,6642	12,00	2989,00
3	117	497,045	433,73361	40,0987	417,6248	576,4658	19,30	1.929,20
Total	452	405,103	358,98622	16,8853	371,9195	438,2867	10,20	2.989,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği grupları arasında karbon depolama değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	1.627.984,907	2	813.992,454	6,470	,002
Gruplar içi	56.492.882,828	449	125.819,338		
Total	58.120.867,736	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 1. ile 2. gruplar arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark yokken ($p>0,05$) 3.grup ile diğer iki grup arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Sonuçlar karbon depolamanın, belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar sınırlı artış göstermekte olduğunu, ancak bu eşik aşıldığında belirgin şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-66,77780	43,7212	,279	-169,5886	36,0330
		3	-172,89085*	49,7330	,002	-289,8385	-55,9432
	2	1	66,77780	43,7212	,279	-36,0330	169,5886
		3	-106,11305*	39,8614	,022	-199,8475	-12,3787
LSD	1	2	-66,77780	43,7212	,127	-152,7013	19,1457
		3	-172,89085*	49,7330	,001	-270,6292	-75,1525
	2	1	66,77780	43,7212	,127	-19,1457	152,7013
		3	-106,11305*	39,8614	,008	-184,4510	-27,7751
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.6.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç adet ağaç taç genişliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.24'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 405 kg olup, standart sapma değeri 358'dir. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 91 kg, normal taçlı ağaçların 387 kg ve geniş taçlı ağaçların 934 kg'dır. C depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 77 ila 106 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 358 ila 417 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 829 ila 1039 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.24. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	91	91,202	69,18708	7,25278	76,7933	105,6111	10,20	311,10
2	297	387,297	257,60928	14,9480	357,8788	416,7145	31,60	1929,20
3	64	934,064	419,34972	52,4187	829,3136	1.038,8145	233,60	2.989,00
Total	452	405,103	358,98622	16,8853	371,9195	438,2867	10,20	2.989,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği grupları arasında karbon depolama değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 194 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	26.967.924,312	2	13.483.962,156	194,341	,000
Gruplar içi	31.152.943,424	449	69.382,947		
Total	58.120.867,736	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç genişlik grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (dar taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (geniş taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç taç genişliği arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	(J) Taç geniş. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-296,09444*	31,5605	,000	-370,3092	-221,8797
		3	-842,86186*	42,9716	,000	-943,9100	-741,8137
	2	1	296,09444*	31,5605	,000	221,8797	370,3092
		3	-546,76743*	36,3004	,000	-632,1283	-461,4066
LSD	1	2	-296,09444*	31,5605	,000	-358,1190	-234,0699
		3	-842,86186*	42,9716	,000	-927,3123	-758,4114
	2	1	296,09444*	31,5605	,000	234,0699	358,1190
		3	-546,76743*	36,3004	,000	-618,1073	-475,4276
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.6.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç küçük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve büyük taçlı (3.grup) olmak üzere üç adet ağaç taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 405 kg olup, standart sapma değeri 358'dir. Gruplar itibariyle küçük taçlı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 115 kg, orta taçlı ağaçların 371 kg ve kalın ağaçların 859 kg'dır. C depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 100 ila 130 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 343,5 ila 399 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 779,5 ila 939 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	129	115,051	84,66516	7,45435	100,3015	129,8009	10,20	447,80
2	224	371,437	212,01226	14,1657	343,5214	399,3527	63,60	1621,30
3	99	859,223	399,70289	40,1716	779,5039	938,9426	233,60	2.989,00
Total	452	405,103	358,98622	16,8853	371,9195	438,2867	10,20	2.989,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı grupları arasında karbon depolama değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 266 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	31.522.952,854	2	15.761.476,427	266,070	,000
Gruplar içi	26.597.914,881	449	59.238,118		
Total	58.120.867,736	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır (Çizelge 4.29)..

Çizelge 4.29. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	(J) Taç örtü alanı (m^2) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-256,38589*	26,9010	,000	-319,6440	-193,1278
		3	-744,17207*	32,5204	,000	-820,6441	-667,7000
	2	1	256,38589*	26,9010	,000	193,1278	319,6440
		3	-487,78618*	29,3738	,000	-556,8590	-418,7133
LSD	1	2	-256,38589*	26,9010	,000	-309,2535	-203,5183
		3	-744,17207*	32,5204	,000	-808,0831	-680,2610
	2	1	256,38589*	26,9010	,000	203,5183	309,2535
		3	-487,78618*	29,3738	,000	-545,5134	-430,0590

*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Test sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (büyük taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.29).

4.1.7. Kepez Kent Ormanı'nın tuttuğu karbon miktarının fonksiyonel analizi

Kepez Kent Ormanı'nın tuttuğu karbon miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Tutulan karbon miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.30).

Kepez Kent Ormanı'nda tutulan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değeri logaritmik fonksiyonda 0,986 - 0,991 aralığında iken doğrusal fonksiyonda 0,966 - 0,974 aralığında bulunmuştur. Düzeltilmiş R^2 değerleri daha yüksek bulunduğundan karbon depolama miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Kepez Kent Ormanı tutulan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Açıklayıcı değişkenler*	Doğrusal Fonsiyon Modeli			Logaritmik Fonksiyon Modeli		
		R	R^2	Düzeltilmiş R^2	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X1	,983	,967	,966	,993	,986	,986
2	X1, X3	,986	,972	,972	,995	,990	,990
3	X1,X3, X2	,987	,974	,974	,995	,990	,990
4	X1, X3, X2, X4	,987	,975	,974	,995	,991	,991
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)							

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan tutulan karbon miktarının, sayısal değerini vermektedir. Tutulan karbon miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.31).

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına

gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Model 3'te ağaç yüksekliğinin, model 4'te ağaç yüksekliğine ilave olarak taç yüksekliği değişkeninin katsayıları negatif bulunmuştur (Çizelge 4.31). Negatif katsayılar, değişkenler arasındaki yüksek ilişki nedeniyle ortaya çıkan ortak açıklama etkisini yansıtabileceği gibi, özellikle sık dikim yapılan alanlarda ışık rekabeti sonucu bireylerin çap artışı yerine boy büyümesine yönelmesi ve taç gelişiminin sınırlanmasının da bir göstergesi olabilir. Nitekim yoğun meşcerelerde rekabetin bireysel ağaçların çap büyümesini sınırlandırdığı ve seyreltme ile çap büyümesinin hızlandığı bildirilmiştir (Pretzsch, 2020). Ayrıca dikim yoğunluğunun taç yapısı ve bireysel ağaç büyümesini önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Zhao vd. 2020). Bu nedenle elde edilen negatif katsayıların, çalışma alanlarındaki rekabet koşulları ve meşcere yapısıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak bu çalışma alanındaki ağaçların sıklık durumunu belirleyen herhangi bir ölçüm yapılmadığından katsayıların negatif olduğu 3. ve 4. modeller kullanılmamıştır. Değerlendirme ve yorumlama için 2. Model esas alınmıştır. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.31).

Karbon tutma tahmininde en uygun modelin ağaç gövde çapı ve taç örtü alanını içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gövde çapı katsayısı 0,443 bulunmuştur (Çizelge 4.31). Bu gövde çapı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,443 artacağını ifade etmektedir. Taç örtü alanı katsayısı ise 0,326 olarak bulunmuş olup, taç örtü alanı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,326 artacağını ifade etmektedir.

Çizelge 4.31. Kepez Kent Ormanı'nda tutulan karbon miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	,792	,004	177,774	,000
2	X1: Gövde çapı	,443	,026	16,842	,000
	X3: Taç örtü alanı	,326	,024	13,387	,000
3	X1:Gövde çapı	,684	,054	12,551	,000
	X3: Taç örtü alanı	,284	,025	11,249	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,244	,049	-5,004	,000
4	X1:Gövde çapı	,685	,054	12,651	,000
	X3: Taç örtü alanı	,283	,025	11,278	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,192	,053	-3,645	,000
	X4: Taç yüksekliği	-,073	,029	-2,518	,012

Gövde çapı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, karbon tutma üzerinde en etkili bağımsız değişken ve taç örtü alanı ise ikinci derecede önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, ağaç yüksekliği ve taç yüksekliği

değişkenlerinin modele eklenmesi, katsayı işaretlerinde değişime ve modelin açıklayıcılığında sınırlı artışa neden olmuştur (Çizelge 4.31).

4.1.7.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç ince (1.grup), orta (2. Grup) ve kalın (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 20,9 kg olup, standart sapma değeri 11,6'dIr. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 3,7 kg, orta çaplı ağaçların 18,5 kg ve kalın ağaçların 41,2 kg'dır. C depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 3,3 ila 4,1 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 17,7 ila 19,4 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 39 ila 43 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.32. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	15	3,6800	,75233	,19425	3,2634	4,0966	2,30	4,70
2	380	18,5216	8,42729	,43231	17,6716	19,3716	1,10	43,50
3	57	41,2439	7,96477	1,05496	39,1305	43,3572	9,30	60,50
Total	452	20,8945	11,59794	,54552	19,8224	21,9665	1,10	60,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı grupları arasında karbon tutma değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 222 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	30.188,269	2	15.094,134	222,375	,000
Gruplar içi	30.476,687	449	67,877		
Total	60.664,956	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında karbon tutma değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar

bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı arttıkça karbon tutma değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-14,84158*	2,16881	,000	-19,9416	-9,7416
		3	-37,56386*	2,39080	,000	-43,1859	-31,9419
	2	1	14,84158*	2,16881	,000	9,7416	19,9416
		3	-22,72228*	1,17023	,000	-25,4741	-19,9705
LSD	1	2	-14,84158*	2,16881	,000	-19,1039	-10,5793
		3	-37,56386*	2,39080	,000	-42,2624	-32,8653
	2	1	14,84158*	2,16881	,000	10,5793	19,1039
		3	-22,72228*	1,17023	,000	-25,0221	-20,4225
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.7.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç kısa (1.grup), orta (2. Grup) ve uzun (3.grup) olmak üzere üç ağaç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.35'te verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 20,9 kg olup, standart sapma değeri 11,6'dır. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 11,4 kg, orta boylu ağaçların 19,1 kg ve uzun boylu ağaçların 28,9 kg'dır. C tutma miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 9,9 ila 12,8 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 17,7 ila 20,4 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 27,2 ila 30,6 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç yüksekliği arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.35. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	93	11,4097	7,02508	,72847	9,9629	12,8565	2,50	38,60
2	203	19,0645	9,77245	,68589	17,7121	20,4170	2,30	60,50
3	156	28,9301	10,69038	,85592	27,2394	30,6209	1,10	55,80
Total	452	20,8945	11,59794	,54552	19,8224	21,9665	1,10	60,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği grupları arasında karbon tutma değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 103 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.36).

Çizelge 4.36. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	19.119,382	2	9.559,691	103,315	,000
Gruplar içi	41.545,574	449	92,529		
Total	60.664,956	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm ağaç yükseklik grupları arasında karbon tutma değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (kısa boylu ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (uzun boylu ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç yüksekliği artışına bağlı olarak karbon tutma değerinin de anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.37).

Çizelge 4.37. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	(J) Ağaç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-7,65485*	1,20447	,000	-10,4872	-4,8225
		3	-17,52045*	1,26019	,000	-20,4838	-14,5571
	2	1	7,65485*	1,20447	,000	4,8225	10,4872
		3	-9,86560*	1,02418	,000	-12,2740	-7,4572
LSD	1	2	-7,65485*	1,20447	,000	-10,0220	-5,2878
		3	-17,52045*	1,26019	,000	-19,9970	-15,0439
	2	1	7,65485*	1,20447	,000	5,2878	10,0220
		3	-9,86560*	1,02418	,000	-11,8784	-7,8528
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.7.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 20,9 kg olup, standart sapma değeri 11,6'dır. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 18 kg, orta taçlı ağaçların 20,8 kg ve yüksek taçlı ağaçların 23,1 kg'dır. C tutma miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 16 ila 20 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 19 ila 22 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 20,5 ila 25,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.38. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	90	18,3622	9,56109	1,00783	16,3597	20,3648	1,10	43,00
2	245	20,7780	10,74590	,68653	19,4257	22,1302	2,50	50,80
3	117	23,0863	14,14543	1,30775	20,4962	25,6765	3,00	60,50
Total	452	20,8945	11,59794	,54552	19,8224	21,9665	1,10	60,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği grupları arasında karbon tutma değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 4 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	1.142,526	2	571,263	4,309	,014
Gruplar içi	59.522,431	449	132,567		
Total	60.664,956	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 1. ile 3. gruplar arasında karbon tutma değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark varken ($p<0,05$) 2.grup ile diğer iki grup arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Sonuçlar karbon tutmanın, belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ağaç orta taç yüksekliğine ulaştığında sınırlı artış göstermekte olduğunu, ancak bu eşik aşıldığında tekrar belirgin şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.40. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-2,41574	1,41917	,205	-5,7529	,9215
		3	-4,72410*	1,61431	,010	-8,5202	-,9280
	2	1	2,41574	1,41917	,205	-,9215	5,7529
		3	-2,30837	1,29388	,176	-5,3509	,7342
LSD	1	2	-2,41574	1,41917	,089	-5,2048	,3733
		3	-4,72410*	1,61431	,004	-7,8967	-1,5516
	2	1	2,41574	1,41917	,089	-,3733	5,2048
		3	-2,30837	1,29388	,075	-4,8512	,2345
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.7.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç genişliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.41'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 20,9 kg olup, standart sapma değeri 11,6'dır. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 8,5 kg, normal taçlı ağaçların 21,2 kg ve geniş taçlı ağaçların 37 kg'dır. Karbon tutma miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 7,5 ila 9,5 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 20,2 ila 22,2 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 34,6 ila 39,5 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.41. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	91	8,5176	4,64685	,48712	7,5498	9,4853	1,10	23,70
2	297	21,2131	8,63923	,50130	20,2266	22,1997	5,00	55,80
3	64	37,0141	9,78270	1,22284	34,5704	39,4577	9,30	60,50
Total	452	20,8945	11,59794	,54552	19,8224	21,9665	1,10	60,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği grupları arasında karbon tutma değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 228,5 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.42. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	30.600,048	2	15.300,024	228,496	,000
Gruplar içi	30.064,908	449	66,960		
Total	60.664,956	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç yükseklik grupları arasında karbon tutma değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (dar taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (geniş taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç taç yüksekliği artışına bağlı olarak karbon tutma değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.43).

Çizelge 4.43. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	(J) Taç geniş. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-12,69555*	,98045	,000	-15,0011	-10,3900
		3	-28,49648*	1,33494	,000	-31,6356	-25,3574
	2	1	12,69555*	,98045	,000	10,3900	15,0011
		3	-15,80093*	1,12770	,000	-18,4527	-13,1491
LSD	1	2	-12,69555*	,98045	,000	-14,6224	-10,7687
		3	-28,49648*	1,33494	,000	-31,1200	-25,8730
	2	1	12,69555*	,98045	,000	10,7687	14,6224
		3	-15,80093*	1,12770	,000	-18,0171	-13,5847
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.7.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç küçük (1.grup), orta (2. Grup) ve büyük (3.grup) olmak üzere üç, taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.44'te verilmiştir.

Çizelge 4.44. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	129	9,6481	4,96020	,43672	8,7839	10,5122	1,10	26,90
2	224	21,0692	7,53295	,50332	20,0773	22,0611	6,80	50,80
3	99	35,1535	9,26357	,93102	33,3059	37,0011	9,30	60,50
Total	452	20,8945	11,59794	,54552	19,8224	21,9665	1,10	60,50

Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 20,9 kg olup, standart sapma değeri 11,6'dır. Gruplar itibariyle küçük taçlı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 9,6 kg, orta taçlı ağaçların 21 kg ve büyük taçlı ağaçların 35 kg'dır. Karbon tutma miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 8,8 ila 10,5 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 20,1 ila 22,1 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 33,3 ila 37 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı grupları arasında karbon tutma değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 337,9 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.45).

Çizelge 4.45. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	36.451,750	2	18.225,875	337,973	,000
Gruplar içi	24.213,206	449	53,927		
Total	60.664,956	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında karbon tutma değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (büyük taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç taç örtü alanındaki artışa bağlı olarak karbon tutma değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.46).

Çizelge 4.46. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	(J) Taç örtü alanı (m^2) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-11,42113*	,81165	,000	-13,3297	-9,5125
		3	-25,50547*	,98120	,000	-27,8128	-23,1982
	2	1	11,42113*	,81165	,000	9,5125	13,3297
		3	-14,08434*	,88626	,000	-16,1684	-12,0003
LSD	1	2	-11,42113*	,81165	,000	-13,0162	-9,8260
		3	-25,50547*	,98120	,000	-27,4338	-23,5772
	2	1	11,42113*	,81165	,000	9,8260	13,0162
		3	-14,08434*	,88626	,000	-15,8261	-12,3426
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.8. Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarının fonksiyonel analizi

Kepez Kent Ormanı tarafından önlenen yüzey akış miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Önlenen yüzey akış miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.47).

Çizelge 4.47. Kepez Kent Ormanı önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X3	,752	,565	,564	X1	,993	,985	,985
2	X3, X4	,761	,580	,578	X1,X3	,993	,986	,986
3	X3, X4, X2	,784	,615	,612				
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değeri logaritmik fonksiyonda (0,985 - 0,986) doğrusal fonksiyona (0,564 – 0,612) göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.47). Ancak katsayılar negatif olduğu için (Çizelge 4.48), logaritmik model kullanılmamıştır. Doğrusal fonksiyon modelinde katsayılar pozitif olmasına rağmen (Çizelge 4.49), düzeltilmiş R^2 değerleri 0,565 ile 0,615 arasında olup bu değerler düşük bulunmuştur. Bunun nedeni önlenen yüzey akışında kullanılan bağımsız değişkenlerin yanında, yağış miktarı, rüzgar, mevsimsellik gibi çevresel faktörlerinde etkili olmasıdır.

Bu bağlamda her iki modelinde önlenen yüzey akışını açıklamada yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle diğer bağımlı değişkenlere uygulanan analizler önlenen yüzey akışı değişkeni için uygulanamamıştır.

Çizelge 4.48. Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	-,556	,006	-95,964	,000
2	X1: Gövde çapı	-,785	-1,400	-10,650	,000
	X3: Taç örtü alanı	,197	,409	3,108	,002

Çizelge 4.49. Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X3: Taç örtü alanı	,001	,000	24,220	,000
2	X3: Taç örtü alanı	,000	,000	13,177	,000
	X4: Taç yüksekliği	,001	,000	3,891	,000
3	X3: Taç örtü alanı	,001	,000	15,064	,000
	X4: Taç yüksekliği	,003	,000	7,537	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,002	,000	-6,402	,000

4.1.9. Kepez Kent Ormanı'nda giderilen kirlilik miktarının fonksiyonel analizi

Kepez Kent Ormanı tarafından önlenen yüzey akış miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Giderilen kirlilik miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.50).

Çizelge 4.50. Kepez Kent Ormanı giderilen kirlilik miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X3	,873	,763	,762	X3	,992	,984	,984
2	X3, X4	,916	,840	,839	X3, X4	,996	,993	,993
3	X3, X4, X2	,924	,854	,853	X3, X4, X2	,996	,993	,993
4					X3, X4, X2, X1	,997	,993	,993
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Kepez Kent Ormanı'nda giderilen kirlilik miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değerleri logaritmik fonksiyonda 0,984 – 0,993 aralığında iken doğrusal fonksiyonda 0,762 – 0,853 aralığında bulunmuştur. Düzeltilmiş R^2 değerleri daha yüksek bulunduğundan giderilen kirlilik miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.50).

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan giderilen kirlilik miktarının, sayısal değerini vermektedir. Giderilen kirlilik miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.51).

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle (giderilen kirlilik miktarı) açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Model 3 ve 4 'te ağaç yüksekliği değişkeninin katsayısı negatif bulunmuştur (Çizelge 4.51). Ancak literatürde ağaç yüksekliğinin kirletici giderimi ile ters ilişkili olduğuna dair bir sonuca rastlanmamıştır. Bununla birlikte yapılan bazı çalışmalarda (Han vd. 2020) kirletici gideriminin meteorolojik unsurlar ve türlerin yanı sıra büyük oranda taç yüksekliği ve yaprak alanı indeksi, dolayısıyla taç örtü alanına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada katsayının negatif olduğu 3. ve 4. modeller kullanılmamıştır. Değerlendirme ve yorumlama için 2. model esas alınmıştır. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.51).

Giderilen kirlilik miktarı tahmininde en uygun modelin taç örtü alanı ve taç yüksekliğini içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Taç örtü alanı katsayısı 0,934 bulunmuştur (Çizelge 4.51). Bu taç örtü alanı 0,01 arttığında giderilen kirlilik miktarının 0,934 artacağını ifade etmektedir. Taç yüksekliği katsayısı ise 0,805 olarak bulunmuş olup, taç yüksekliği 0,01 arttığında giderilen kirlilik miktarının 0,805 artacağını ifade etmektedir.

Taç örtü alanı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, giderilen kirlilik miktarı üzerinde en etkili bağımsız değişken ve taç yüksekliği ise ikinci derecede önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. Gövde çapı değişkeni ise pozitif olup, modele sınırlı düzeyde katkı sağlamıştır. Buna karşılık, ağaç yüksekliğinin modele eklenmesi, katsayının negatif yönde değişmesine neden olmuştur (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.51. Kepez Kent Ormanı'nda giderilen miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X3: Taç örtü alanı	1,357	,008	166,595	,000
2	X3: Taç örtü alanı	,934	,019	49,499	,000
	X4: Taç yüksekliği	,805	,034	23,402	,000
3	X3: Taç örtü alanı	,989	,027	36,242	,000
	X4: Taç yüksekliği	,892	,047	19,183	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,138	,050	-2,749	,006
4	X3: Taç örtü alanı	,883	,040	22,200	,000
	X4: Taç yüksekliği	,890	,046	19,400	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,382	,084	-4,562	,000
	X1: Gövde çapı	,311	,086	3,615	,000

4.1.9.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç ince (1.grup), orta (2. Grup) ve kalın (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların azalttığı hava kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.52'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam azalttığı kirlilik miktarlarının ortalaması 315,6 g olup, standart sapma değeri 281'dir. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama azalttığı kirlilik miktarı 28,8 g, orta kalınlıktaki ağaçların 273 g ve kalın ağaçların 674,8 g'dır. Azaltılan hava kirliliği miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 17,9 ila 39,6 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 251,7 ila 294,3 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 784 ila 1016 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça azaltılan hava kirliliği miktarı artmıştır.

Çizelge 4.52. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	15	28,7933	19,60304	5,06148	17,9375	39,6491	2,60	68,10
2	380	273,036	211,08365	10,8284	251,7446	294,3270	2,20	1496,40
3	57	674,786	412,74663	54,6696	565,2695	784,3024	131,00	2494,00
Total	452	315,594	281,38287	13,2351	289,5834	341,6038	2,20	2494,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı

grupları arasında önlenen kirlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 79 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.53).

Çizelge 4.53. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	9.276.151,280	2	4.638.075,640	78,786	,000
Gruplar içi	26.432.367,651	449	58.869,416		
Total	35.708.518,931	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında önlenen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı artışına bağlı olarak önlenen kirlilik değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.54).

Çizelge 4.54. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-244,24246*	63,87133	,000	-394,4366	-94,0483
		3	-645,99263*	70,40898	,000	-811,5601	-480,4252
	2	1	244,24246*	63,87133	,000	94,0483	394,4366
		3	-401,75018*	34,46326	,000	-482,7909	-320,7094
LSD	1	2	-244,24246*	63,87133	,000	-369,7663	-118,7186
		3	-645,99263*	70,40898	,000	-784,3647	-507,6206
	2	1	244,24246*	63,87133	,000	118,7186	369,7663
		3	-401,75018*	34,46326	,000	-469,4795	-334,0209
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.9.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç kısa (1.grup), orta (2. Grup) ve uzun (3.grup) olmak üzere üç ağaç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların azalttığı hava kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.55'te verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam azalttığı kirlilik miktarlarının ortalaması 315,6 g olup,

standart sapma değeri 281,4'tür. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama azalttığı kirlilik miktarı 138 g, orta boylu ağaçların 279,9 g ve uzun boylu ağaçların 467,7 g'dır. Azaltılan hava kirliliği miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 116,8 ila 159,4 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 254,2 ila 305,8 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 409,6 ila 525,9 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç yüksekliği arttıkça azaltılan hava kirliliği miktarı artmıştır.

Çizelge 4.55. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	93	138,077	103,33778	10,7156	116,7953	159,3596	3,40	404,10
2	203	279,998	186,18048	13,0673	254,2322	305,7639	2,60	870,00
3	156	467,740	367,42438	29,4175	409,6294	525,8513	2,20	2494,00
Total	452	315,594	281,38287	13,2351	289,5834	341,6038	2,20	2494,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yükseklik grupları arasında önlenen kirlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 52,8 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.56).

Çizelge 4.56. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	6.799.014,014	2	3.399.507,007	52,799	,000
Gruplar içi	28.909.504,917	449	64.386,425		
Total	35.708.518,931	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm ağaç yükseklik grupları arasında önlenen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (kısa boylu ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (uzun boylu ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç yükseklik artışına bağlı olarak önlenen kirlilik değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.57).

Çizelge 4.57. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	(J) Ağaç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-141,92061*	31,7727	,000	-216,6344	-67,2069
		3	-329,66297*	33,2425	,000	-407,8330	-251,4930
	2	1	141,92061*	31,7727	,000	67,2069	216,6344
		3	-187,74236*	27,0168	,000	-251,2727	-124,2120
LSD	1	2	-141,92061*	31,7727	,000	-204,3622	-79,4790
		3	-329,66297*	33,2425	,000	-394,9931	-264,3329
	2	1	141,92061*	31,7727	,000	79,4790	204,3622
		3	-187,74236*	27,0168	,000	-240,8375	-134,6473
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.9.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların azalttığı hava kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.58'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam azalttığı kirlilik miktarlarının ortalaması 315 g olup, standart sapma değeri 281,4'tür. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama azalttığı kirlilik miktarı 182 g, orta taçlı ağaçların 259,7 g ve yüksek taçlı ağaçların 535,4 g'dır. Azaltılan hava kirliliği miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 150,5 ila 213,5 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 240 ila 279 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 459,7 ila 611,1 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç yüksekliği arttıkça azaltılan hava kirliliği miktarı artmıştır.

Çizelge 4.58. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	90	182,001	150,17873	15,8302	150,5468	213,4554	2,20	653,10
2	245	259,706	154,97110	9,90074	240,2047	279,2084	11,70	704,10
3	117	535,386	413,33160	38,2125	459,7008	611,0702	34,40	2494,00
Total	452	315,594	281,38287	13,2351	289,5834	341,6038	2,20	2494,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç

yüksekliği grupları arasında önlenen kirlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir (p<0,05) ve F değeri 65 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.59).

Çizelge 4.59. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	8.023.540,627	2	4.011.770,313	65,064	,000
Gruplar içi	27.684.978,305	449	61.659,194		
Total	35.708.518,931	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç yüksekliği grupları arasında önlenen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur (p<0,05). En düşük ortalama değer 1. grupta (düşük taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (yüksek taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç yüksekliği artışına bağlı olarak önlenen kirlilik değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.60).

Çizelge 4.60. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-77,70542*	30,6067	,031	-149,6775	-5,7333
		3	-353,38436*	34,8153	,000	-435,2529	-271,5158
	2	1	77,70542*	30,6067	,031	5,7333	149,6775
		3	-275,67894*	27,9047	,000	-341,2971	-210,0608
LSD	1	2	-77,70542*	30,6067	,011	-137,8557	-17,5552
		3	-353,38436*	34,8153	,000	-421,8055	-284,9632
	2	1	77,70542*	30,6067	,011	17,5552	137,8557
		3	-275,67894*	27,9047	,000	-330,5190	-220,8389
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.9.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç ağaç genişliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların azalttığı hava kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.61'de verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam azalttığı kirlilik miktarlarının ortalaması 315,6 g olup, standart sapma değeri 281,4'tür. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama azalttığı kirlilik miktarı 69,4 g, orta normal taçlı ağaçların 322 g ve geniş taçlı ağaçların 635,9 g'dır. Azaltılan hava kirliliği miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 57 ila 81,4 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 297 ila 346,7 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 539 ila 732,8 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça azaltılan hava kirliliği miktarı artmıştır.

Çizelge 4.61. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	91	69,4033	57,51533	6,02925	57,4251	81,3814	2,20	237,20
2	297	322,001	216,24285	12,5477	297,3067	346,6946	19,20	1515,80
3	64	635,913	387,81461	48,4768	539,0393	732,7857	131,00	2494,00
Total	452	315,594	281,38287	13,2351	289,5834	341,6038	2,20	2494,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği grupları arasında önlenen kirlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 114,9 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.62).

Çizelge 4.62. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	12.094.340,233	2	6.047.170,116	114,981	,000
Gruplar içi	23.614.178,699	449	52.592,826		
Total	35.708.518,931	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç genişliği grupları arasında önlenen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (dar taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (geniş taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç genişliği artışına bağlı olarak önlenen kirlilik değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.63).

Çizelge 4.63. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş.(m) grup	(J) Taç geniş.(m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-252,59738*	27,47769	,000	-317,2115	-187,9833
		3	-566,50920*	37,41265	,000	-654,4854	-478,5330
	2	1	252,59738*	27,47769	,000	187,9833	317,2115
		3	-313,91183*	31,60448	,000	-388,2301	-239,5936
LSD	1	2	-252,59738*	27,47769	,000	-306,5982	-198,5965
		3	-566,50920*	37,41265	,000	-640,0348	-492,9836
	2	1	252,59738*	27,47769	,000	198,5965	306,5982
		3	-313,91183*	31,60448	,000	-376,0229	-251,8008
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.9.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç küçük (1.grup), orta (2. Grup) ve büyük (3.grup) olmak üzere üç adet, taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların azalttığı hava kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.64'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam azalttığı kirlilik miktarlarının ortalaması 315,6 g olup, standart sapma değeri 281,4'tür. Gruplar itibariyle küçük ağaçların ortalama azalttığı kirlilik miktarı 95,2 g, orta ağaçların 307,5 g ve büyük ağaçların 621,2 g'dır. Azaltılan hava kirliliği miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 80,9 ila 109,4 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 287 ila 327,9 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 545,9 ila 696,5 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça azaltılan hava kirliliği miktarı artmıştır.

Çizelge 4.64. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına giderilen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	129	95,1597	81,68136	7,19164	80,9298	109,3896	2,20	362,40
2	224	307,452	154,98748	10,3555	287,0446	327,8590	19,20	954,90
3	99	621,247	377,50127	37,9403	545,9562	696,5388	131,00	2494,00
Total	452	315,594	281,38287	13,2351	289,5834	341,6038	2,20	2494,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı

grupları arasında önlenen kirlilik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 172,8 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.65).

Çizelge 4.65. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	**Serbestlik derecesi**	**Kareler ortalaması**	**F**	**Önem düzeyi**
Gruplar arası	15.532.106,615	2	7.766.053,307	172,823	,000
Gruplar içi	20.176.412,317	449	44.936,330		
Total	35.708.518,931	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında önlenen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (büyük ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç örtü alanı artışına bağlı olarak önlenen kirlilik değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.66).

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında önlenen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (büyük ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç örtü alanı artışına bağlı olarak önlenen kirlilik değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.66).

Çizelge 4.66. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	**(J) Taç örtü alanı (m^2) grup**	**Ortalama fark (I-J)**	**Std. hata**	**Önem düzeyi**	**% 95 Güven aralığı**	
						Alt sınır	**Üst sınır**
Tukey HSD	1	2	-212,29210*	23,4297	,000	-267,3874	-157,1968
		3	-526,08778*	28,3239	,000	-592,6919	-459,4837
	2	1	212,29210*	23,4297	,000	157,1968	267,3874
		3	-313,79569*	25,5834	,000	-373,9554	-253,6360
LSD	1	2	-212,29210*	23,4297	,000	-258,3376	-166,2465
		3	-526,08778*	28,3239	,000	-581,7517	-470,4238
	2	1	212,29210*	23,4297	,000	166,2465	258,3376
		3	-313,79569*	25,5834	,000	-364,0738	-263,5176
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.10. Kepez Kent Ormanı'nda üretilen oksijen miktarının fonksiyonel analizi

Kepez Kent Ormanı tarafından önlenen yüzey akış miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Tutulan karbon miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.67).

Kepez Kent Ormanı'nda üretilen oksijen miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 logaritmik fonksiyonda 0,995 - 0,996 aralığında iken doğrusal fonksiyonda 0,966 - 0,974 aralığında bulunmuştur. Düzeltilmiş R^2 değerleri daha yüksek bulunduğundan üretilen oksijen miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.67).

Çizelge 4.67. Kepez Kent Ormanı üretilen oksijen miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X1	,983	,967	,966	X1	,998	,995	,995
2	X1, X3	,986	,972	,972	X1, X3	,998	,996	,996
3	X1, X3, X2	,987	,974	,974	X1, X3, X2	,998	,996	,996
4	X1, X3, X2, X4	,987	,974	,974				
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan üretilen oksijen miktarının, sayısal değerini vermektedir. Üretilen oksijen miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.68).

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Model 3'te ağaç yüksekliği değişkeninin katsayısı negatif bulunmuştur (Çizelge 4.68). Negatif katsayılar, değişkenler arasındaki yüksek ilişki nedeniyle ortaya çıkan ortak açıklama etkisini yansıtabileceği gibi, özellikle sık dikim yapılan alanlarda ışık

rekabeti sonucu boy artsa bile gövde çapı, aynı hızda artmaz, taç daralır ve dolayısıyla da canlı taç oranı azalmaktadır. Nitekim dikim yoğunluğunun taç yapısı ve bireysel ağaç büyümesini önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Zhao vd. 2020). Bu nedenle elde edilen negatif katsayının, çalışma alanlarındaki rekabet koşulları ve meşcere yapısıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak bu çalışma alanındaki ağaçların sıklık durumunu belirleyen herhangi bir ölçüm yapılmadığından katsayının negatif olduğu 3. model kullanılmamıştır. Değerlendirme ve yorumlama için 2. Model esas alınmıştır. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.68).

Üretilen oksijen miktarı tahmininde en uygun modelin ağaç gövde çapı ve taç örtü alanını içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gövde çapı katsayısı 0,825 bulunmuştur. Bu gövde çapı 0,01 arttığında tutulan üretilen oksijen miktarının 0,825 artacağını ifade etmektedir. Taç örtü alanı katsayısı ise 0,217 olarak bulunmuş olup, taç örtü alanı 0,01 arttığında üretilen oksijen miktarının 0,217 artacağını ifade etmektedir (Çizelge 4.68).

Gövde çapı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, oksijen üretimi üzerinde en etkili bağımsız değişken ve taç örtü alanı ise ikinci derecede önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, ağaç yüksekliği değişkeninin modele eklenmesi, katsayı işaretinde değişime neden olmuştur (Çizelge 4.68).

Çizelge 4.68. Kepez Kent Ormanı'nda üretilen oksijen miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	1,057	,003	312,658	,000
2	X1: Gövde çapı	,825	,021	39,525	,000
	X3: Taç örtü alanı	,217	,019	11,228	,000
3	X1: Gövde çapı	,936	,044	21,265	,000
	X3: Taç örtü alanı	,197	,020	9,694	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,112	,039	-2,849	,005

4.1.10.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç ince çaplı (1.grup), orta çaplı (2. Grup) ve kalın çaplı (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.69'da verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalaması 55,7 kg olup, standart sapma değeri 30,9'dur.

Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama ürettiği oksijen miktarı 9,8 kg, orta çaplı ağaçların 49,4 kg ve kalın çaplı ağaçların 109,9 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 8,7 ila 10,9 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 47,1 ila 51,7 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 104,4 ila 115,6 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.69. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	15	9,8133	2,00174	,51685	8,7048	10,9219	6,20	12,60
2	380	49,3905	22,47241	1,15281	47,1238	51,6572	3,00	115,90
3	57	109,996	21,24218	2,81360	104,3602	115,6328	24,80	161,40
Total	452	55,7199	30,93075	1,45486	52,8608	58,5791	3,00	161,40

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı grupları arasında üretilen oksijen açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 222,5 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.70).

Çizelge 4.70. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	214.753,418	2	107.376,709	222,459	,000
Gruplar içi	216.723,463	449	482,680		
Total	431.476,881	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında üretilen oksijen miktarı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı artışına bağlı olarak üretilen oksijen miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.71).

Çizelge 4.71. Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-39,57719*	5,78350	,000	-53,1772	-25,9772
		3	-100,18316*	6,37548	,000	-115,1752	-85,1911
	2	1	39,57719*	5,78350	,000	25,9772	53,1772
		3	-60,60596*	3,12062	,000	-67,9441	-53,2678
LSD	1	2	-39,57719*	5,78350	,000	-50,9433	-28,2111
		3	-100,18316*	6,37548	,000	-112,7126	-87,6537
	2	1	39,57719*	5,78350	,000	28,2111	50,9433
		3	-60,60596*	3,12062	,000	-66,7388	-54,4731
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.10.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç kısa (1.grup), orta (2. Grup) ve uzun (3.grup) olmak üzere üç ağaç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.72'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalaması 55,7 kg olup, standart sapma değeri 30,9'dur. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama ürettiği oksijen miktarı 30,4 kg, orta boylu ağaçların 50,8 kg ve uzun boylu ağaçların 77 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 26,6 ila 34,3 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 47,2 ila 54,5 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 72,6 ila 81,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç yüksekliği arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.72. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	93	30,4237	18,73949	1,94319	26,5643	34,2830	6,60	102,90
2	203	50,8438	26,05988	1,82904	47,2374	54,4503	6,20	161,40
3	156	77,1455	28,51571	2,28308	72,6355	81,6555	3,00	148,80
Total	452	55,7199	30,93075	1,45486	52,8608	58,5791	3,00	161,40

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda ağaç

yükseklik grupları arasında üretilen oksijen açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 103,3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.73).

Çizelge 4.73. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	135.950,086	2	67.975,043	103,276	,000
Gruplar içi	295.526,795	449	658,189		
Total	431.476,881	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm ağaç yükseklik grupları arasında üretilen oksijen miktarı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (kısa boylu ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (uzun boylu ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç yüksekliği artışına bağlı olarak üretilen oksijen miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.74).

Çizelge 4.74. Kepez Kent Ormanı'nda ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	(J) Ağaç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-20,42019*	3,21241	,000	-27,9742	-12,8662
		3	-46,72186*	3,36102	,000	-54,6253	-38,8184
	2	1	20,42019*	3,21241	,000	12,8662	27,9742
		3	-26,30167*	2,73157	,000	-32,7250	-19,8784
LSD	1	2	-20,42019*	3,21241	,000	-26,7334	-14,1070
		3	-46,72186*	3,36102	,000	-53,3271	-40,1166
	2	1	20,42019*	3,21241	,000	14,1070	26,7334
		3	-26,30167*	2,73157	,000	-31,6699	-20,9334
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.10.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yüksekliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.75'te verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam grupların ürettiği oksijen miktarı ortalaması 55,7 kg olup, standart sapma değeri 30,9'dur. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama ürettiği oksijen miktarı 48,9 kg, orta taçlı ağaçların 55,4 kg ve yüksek taçlı ağaçların 61,6 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 43,6 ila 54,3 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 51,8 ila 59 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 54,7 ila 68,5 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç yüksekliği arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.75. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	90	48,9667	25,48604	2,68646	43,6287	54,3046	3,00	114,70
2	245	55,4037	28,65721	1,83084	51,7974	59,0099	6,60	135,60
3	117	61,5769	37,73132	3,48826	54,6680	68,4859	8,00	161,40
Total	452	55,7199	30,93075	1,45486	52,8608	58,5791	3,00	161,40

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği grupları arasında üretilen oksijen açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 4,3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.76).

Çizelge 4.76. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	8.142,706	2	4.071,353	4,318	,014
Gruplar içi	423.334,174	449	942,838		
Total	431.476,881	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 1. ile 3. gruplar arasında oksijen üretme miktarları bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark varken ($p<0,05$) 2.grup ile diğer iki grup arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Sonuçlar oksijen üretme miktarının, belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ağaç orta taç yüksekliğine ulaştığında sınırlı artış göstermekte olduğunu, ancak bu eşik aşıldığında tekrar belirgin şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.77).

Çizelge 4.77. Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-6,43701	3,78474	,206	-15,3369	2,4629
		3	-12,61026*	4,30516	,010	-22,7339	-2,4866
	2	1	6,43701	3,78474	,206	-2,4629	15,3369
		3	-6,17325	3,45062	,174	-14,2874	1,9409
LSD	1	2	-6,43701	3,78474	,090	-13,8750	1,0010
		3	-12,61026*	4,30516	,004	-21,0710	-4,1495
	2	1	6,43701	3,78474	,090	-1,0010	13,8750
		3	-6,17325	3,45062	,074	-12,9546	,6081
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.10.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç genişliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.78'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam grupların ürettiği oksijen miktarı ortalaması 55,7 kg olup, standart sapma değeri 30,9'dur. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama ürettiği oksijen miktarı 22,7 kg, normal taçlı ağaçların 56,6 kg ve geniş taçlı ağaçların 98,7 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 20,1 ila 25,3 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 53,9 ila 59,2 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 92,2 ila 105,2 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.78. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	91	22,7143	12,39387	1,29923	20,1331	25,2954	3,00	63,20
2	297	56,5724	23,04564	1,33724	53,9407	59,2041	13,40	148,80
3	64	98,6938	26,09671	3,26209	92,1750	105,2125	24,80	161,40
Total	452	55,7199	30,93075	1,45486	52,8608	58,5791	3,00	161,40

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği grupları arasında üretilen oksijen açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu

belirlenmiştir (p<0,05) ve F değeri 228 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.79).

Çizelge 4.79. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	217.540,678	2	108.770,339	228,282	,000
Gruplar içi	213.936,203	449	476,473		
Total	431.476,881	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç genişlik grupları arasında üretilen oksijen değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur (p<0,05). En düşük ortalama değer 1. grupta (dar taçlı ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (geniş taçlı ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç genişliği artışına bağlı olarak üretilen oksijen miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.80).

Çizelge 4.80. Kepez Kent Ormanı'nda taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	(J) Taç geniş. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-33,85810*	2,61539	,000	-40,0082	-27,7080
		3	-75,97946*	3,56102	,000	-84,3532	-67,6057
	2	1	33,85810*	2,61539	,000	27,7080	40,0082
		3	-42,12136*	3,00818	,000	-49,1951	-35,0476
LSD	1	2	-33,85810*	2,61539	,000	-38,9980	-28,7182
		3	-75,97946*	3,56102	,000	-82,9778	-68,9811
	2	1	33,85810*	2,61539	,000	28,7182	38,9980
		3	-42,12136*	3,00818	,000	-48,0332	-36,2095
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.1.10.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Kepez Kent Ormanı'nda incelenen 452 adet ağaç küçük (1.grup), orta (2. Grup) ve büyük (3.grup) olmak üzere üç taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.81'de verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam grupların ürettiği oksijen miktarlarının ortalaması 55,7 kg olup, standart sapma değeri 30,9'dur. Gruplar itibariyle küçük ağaçların ortalama ürettiği oksijen miktarı 25,7 kg, orta ağaçların 56,2 kg ve büyük ağaçların 93,7 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 23 ila 28 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 53,5 ila 58,8 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 88,8 ila 98,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.81. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	129	25,7225	13,22425	1,16433	23,4187	28,0263	3,00	71,70
2	224	56,1897	20,09231	1,34247	53,5442	58,8353	18,10	135,60
3	99	93,7444	24,70160	2,48260	88,8178	98,6711	24,80	161,40
Total	452	55,7199	30,93075	1,45486	52,8608	58,5791	3,00	161,40

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı grupları arasında üretilen oksijen açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 338 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.82).

Çizelge 4.82. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	259.270,205	2	129.635,103	338,002	,000
Gruplar içi	172.206,676	449	383,534		
Total	431.476,881	451			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında üretilen oksijen miktarı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük ağaçlar), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (büyük ağaçlar) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç örtü alanı artışına bağlı olarak üretilen oksijen miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.83).

Çizelge 4.83. Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	(J) Taç örtü alanı (m^2) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-30,46725*	2,16456	,000	-35,5572	-25,3773
		3	-68,02196*	2,61672	,000	-74,1752	-61,8687
	2	1	30,46725*	2,16456	,000	25,3773	35,5572
		3	-37,55471*	2,36353	,000	-43,1126	-31,9968
LSD	1	2	-30,46725*	2,16456	,000	-34,7212	-26,2133
		3	-68,02196*	2,61672	,000	-73,1645	-62,8794
	2	1	30,46725*	2,16456	,000	26,2133	34,7212
		3	-37,55471*	2,36353	,000	-42,1997	-32,9098
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

Bağımsız değişkenlerin (gövde çapı, taç örtü alanı, taç yüksekliği, ağaç yüksekliği) Kepez Kent Ormanı'nın sağladığı ekosistem hizmetleri (bağımlı değişkenler) üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan regresyon modelleri, yapılan analiz ve test sonuçlarının özet tablosu Çizelge 4.84'te verilmiştir.

Çizelge 4.84. Kepez Kent Ormanı'nda bağımlı değişkenler üzerinde etkili bağımsız değişkenler, istatistiksel analiz ve test sonuçları özet tablosu

Bağımlı değişken	Kullanılan fonksiyon modeli	Bağımsız değişken	ANOVA sonucu	Tukey HSD ve LSD sonucu
Depolanan karbon	Logaritmik fonksiyon modeli	gövde çapı* ve taç örtü alanı	gövde çapı grupları arasında depolanan karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Taç örtü alanı grupları arasında depolanan karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Gövde çapı arttıkça depolanan karbon miktarı anlamlı şekilde artmıştır. Aynı şekilde ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
Tutulan net karbon	Logaritmik fonksiyon modeli	gövde çapı* ve taç örtü alanı	gövde çapı grupları arasında tutulan net karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Taç örtü alanı grupları arasında tutulan net karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Gövde çapı arttıkça tutulan karbon miktarı anlamlı şekilde artmıştır. Aynı şekilde ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir

(Devamı Arkada)

Önlenen yüzey akışı	Önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, logaritmik fonksiyonda katsayılar negatif, doğrusal fonksiyon modelinde katsayılar pozitif olmasına rağmen düzeltilmiş R^2 değerleri (0,565-0,615 arasında) düşük bulunduğundan her iki modelinde önlenen yüzey akışını açıklamada yetersiz olduğu belirlenmiştir. . Bunun nedeni önlenen yüzey akışında kullanılan bağımsız değişkenlerin yanında, yağış miktarı, rüzgar, mevsimsellik gibi çevresel faktörlerinde etkili olmasıdır. Bu bağlamda Bu diğer bağımlı değişkenlere uygulanan analizler önlenen yüzey akışı değişkeni için uygulanamamıştır.			
Kirlilik giderimi	Logaritmik fonksiyon modeli	Taç örtü alanı* ve taç yüksekliği	Taç örtü alanı grupları arasında giderilen kirlilik miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Taç yüksekliği grupları arasında giderilen kirlilik miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Taç yüksekliği artışına bağlı olarak giderilen kirlilik değeri anlamlı şekilde artmıştır. Aynı şekilde taç örtü alanı arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir
Oksijen üretimi	Logaritmik fonksiyon modeli	gövde çapı* ve taç örtü alanı	Gövde çapı grupları arasında üretilen oksijen miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Taç örtü alanı grupları arasında üretilen oksijen miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Gövde çapı artışına bağlı olarak üretilen oksijen miktarı anlamlı şekilde artmıştır. Aynı şekilde taç örtü alanı arttıkça üretilen oksijen miktarının anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir

4.2. Zeytin Park

Zeytin Park için i-Tree Eco'da yapılan analizler sonucunda alanın zeytin ağaçlarıyla kaplı ağaç örtüsü oranının % 30 ve toplam ağaç sayısının 11.050 olduğu belirlenmiştir. Meşcerelere göre ağaç sayıları Z1 için 7.387, Z2 için 2.674 ve Z3 için 994 olup alandaki % oranları ise sırasıyla % 67, % 24 ve % 9'dur (Çizelge 4.85).

Meşcereler	Ağaç sayısı	Oran (%)
Z1	7.387	66,80
Z2	2.674	24,20
Z3	994	9,00
Toplam alan	11.055	100

Çizelge 4.85. Zeytin Park'taki meşcerelerin alandaki oranı ve ağaç sayıları

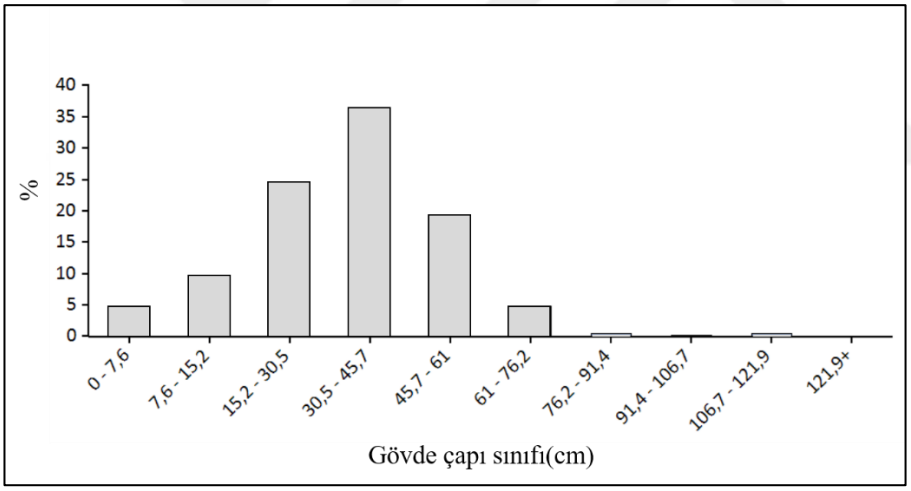
Meşcerelere göre, hektar başına ağaç sayısı 168,8 ile en fazla Z3 meşceresinde

olup onu sırasıyla 108,6 ile Z1 ve 62,5 ile Z2 meşceresi izlemiştir. Tüm alan bazında bakıldığında ise hektar başına ağaç sayısının 42 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.86).

Meşcereler	Ağaç yoğunluğu
Z1	108,6
Z2	62,5
Z3	168,8
Toplam alan	41,7

Çizelge 4.86. Meşcere sınıflarında hektar başına ağaç sayısı (ağaç yoğunluğu)

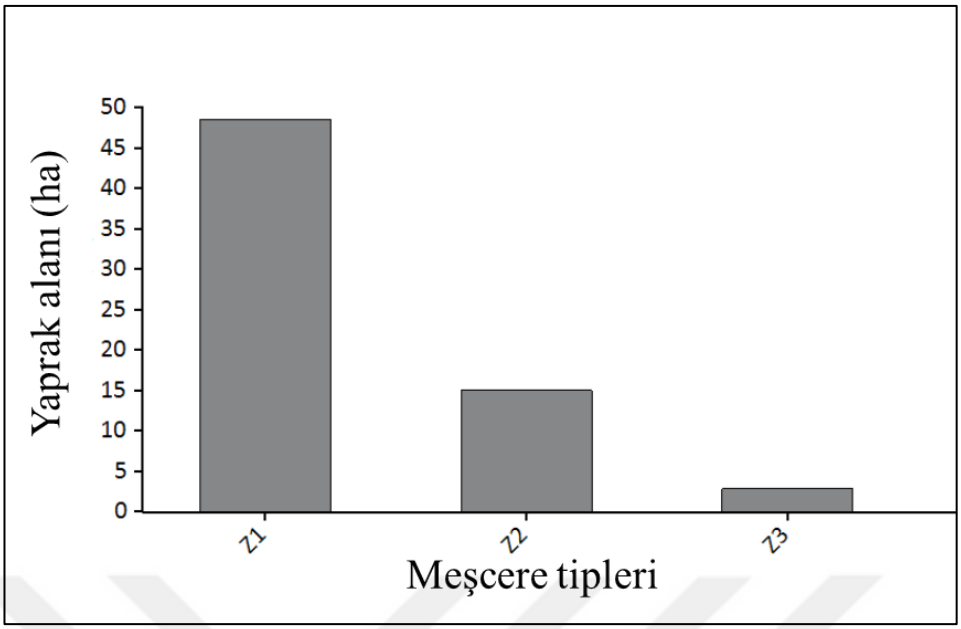
Ağaçlar gövde çaplarına göre sınıflandırıldığında 30 ila 46 cm aralığında olan ağaçların % 36 oranla en yoğun olduğu, onu sırasıyla % 24,4 oranla 15,2 ila 30,5 cm aralığındaki ağaçlar ve % 19 oranla 45 ile 61 cm aralığında olan ağaçlar izlemiştir. Çapı 15,2 cm den küçük ağaçların oranı ise % 14,1 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12).



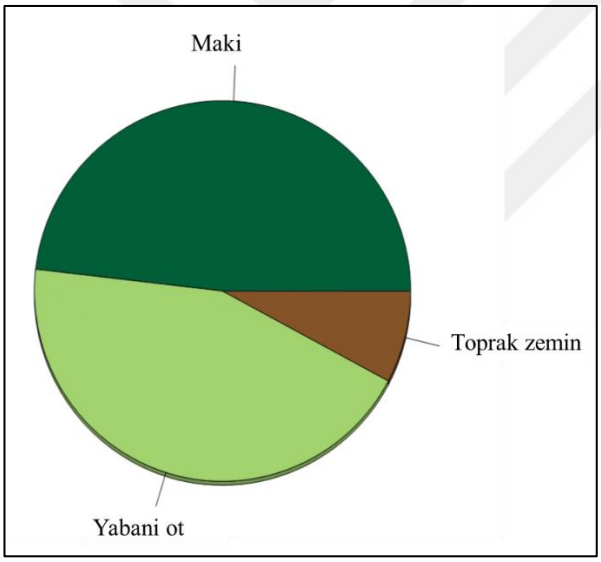
Şekil 4.12. Çap sınıfına göre Zeytin Park'taki ağaç popülasyonu yüzdesi

Zeytin Park'ın % 30'unı zeytin ağaçları kaplamakta ve 66,43 hektarlık yaprak alanı sağlamaktadır. Toplam yaprak alanı en fazla Z1'te olup onu sırasıyla Z2 ve Z3 izlemektedir (Şekil 4.13).

Zeytin Park'taki yaygın zemin örtüsü sınıfları (ağaç ve çalı altındaki örtü tipleri dahil) arasında toprak, makilik alan, yabani otlardır. En baskın zemin örtüsü % 48,2 oranla makilik alan ve % 44 oranla yabani otlardır (Şekil 4.14).



Şekil 4.13. Zeytin Park'taki meşcerelerin kapladıkları yaprak alanı

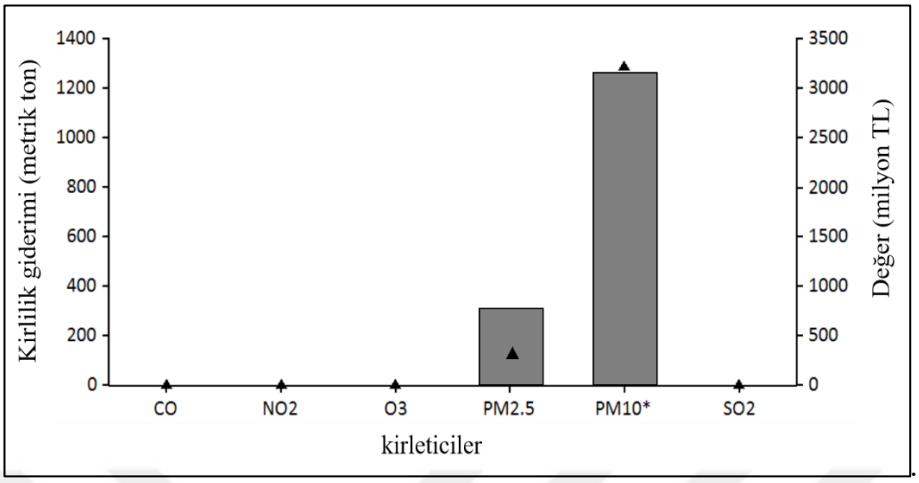


Şekil 4.14. Zeytin Park'taki zemin örtüsü sınıflarına göre arazi yüzdesi

4.2.1. Kirlilik giderimi

Zeytin Park'taki ağaçların kirlilik giderme kapasitesi, saha verileri ve mevcut son kirlilik ve hava durumu verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Kirlilik giderme kapasitesi PM_{10} için en yüksek seviyede bulunmuştur. Ağaçların yılda 1.358 ton $PM_{2.5}$ (2,5 mikrondan küçük partikül madde) ve PM_{10}'u (2,5 mikrondan büyük ve 10 mikrondan küçük partikül madde) giderdiği ve bunun 3 milyon Türk lirası (69.557 Amerikan doları) değerinde olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.15). Giderilen kirlilik miktarının ağaç başına 0,00012 ton (0,12 kg), hektar başına 0,0395 ton (39,5 kg) olduğu tahmin edilmiştir. Analizde kirlilik giderme değerleri metrik ton başına 2,5 mikrondan küçük partikül madde için 11.065.751 TL ve 10 mikrondan küçük partikül madde için

2.447.524 TL fiyatlarına göre hesaplanmıştır (Kirlilik giderimi hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. Sayfa 64).



Şekil 4.15. Zeytin Park'taki yıllık kirlilik giderimi (oklar) ve değerleri (çubuklar)

Zeytin Park'ta meşcereler bazında yıllık kirlilik giderimine bakıldığında en yüksek giderim yılda 0,99 ton ile Z1 meşceresinde olup onu sırasıyla 0,31 ton ile Z2 ve 0,06 ton ile Z3 meşcereleri izlemiştir (Çizelge 4.87).

Meşcereler	Yıllık kirlilik giderimi (ton/yıl)
Z1	0,99
Z2	0,31
Z3	0,06
Tüm alan	1,36

Çizelge 4.87. Meşcerelere göre giderilen kirlilik miktarları

4.2.2. Karbon tutma ve karbon depolama

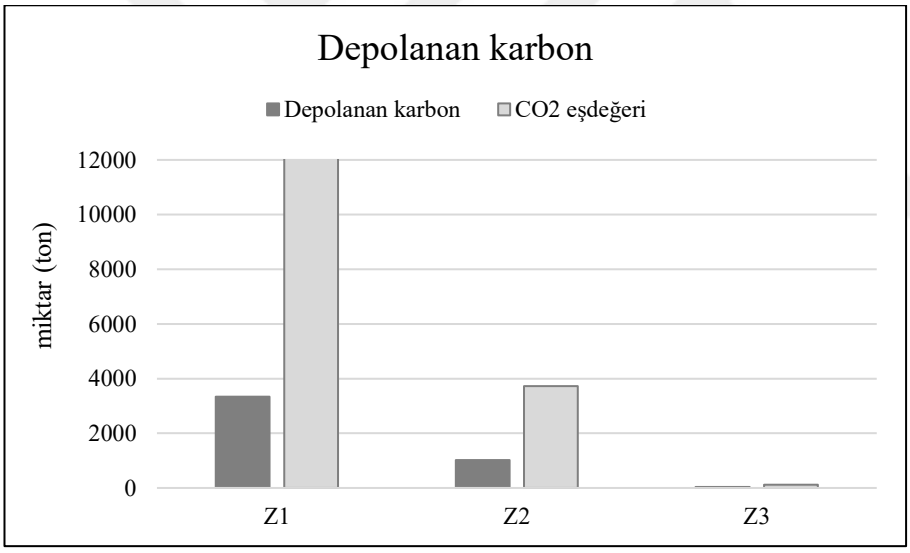
Zeytin Park'taki ağaçların depoladığı karbon tahmini olarak 4388 ton olup bunun 4.861.904 Türk lirasına (112.727 Amerikan doları) denk geldiği hesaplanmıştır. Depolanan karbonun CO_2 eşdeğeri ise 16.088,8 tondur. Ağaç başına depolanan karbon miktarı 0,4 ton olarak tahmin edilmiştir. Hektar başına depolanan karbon miktarı 127,55 ton, depolanan CO_2 miktarı 467,7 ton olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.88). Analizde karbon tutma ve depolama değerleri metrik ton başına 1.108 TL fiyatına göre hesaplanmıştır (Karbon hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. Sayfa 63).

Zeytin Park'ta meşcereler bazında depolanan karbon ve CO_2 eşdeğeri de analiz edilmiştir. Depolanan karbon, ağaç biyokütlesinde depolanan saf karbon miktarı olup bunun karbon miktarının atmosferdeki karşılığı CO_2 eşdeğeridir.

Buna göre ağaç meşecereleri arasında en yüksek karbon depolaması % 76,1 oranla Z1 meşceresinde olup onu sırasıyla % 23 ile Z2 ve % 0,7 ile Z3 meşcereleri izlemiştir (Çizelge 4.88 ve Şekil 4.16)

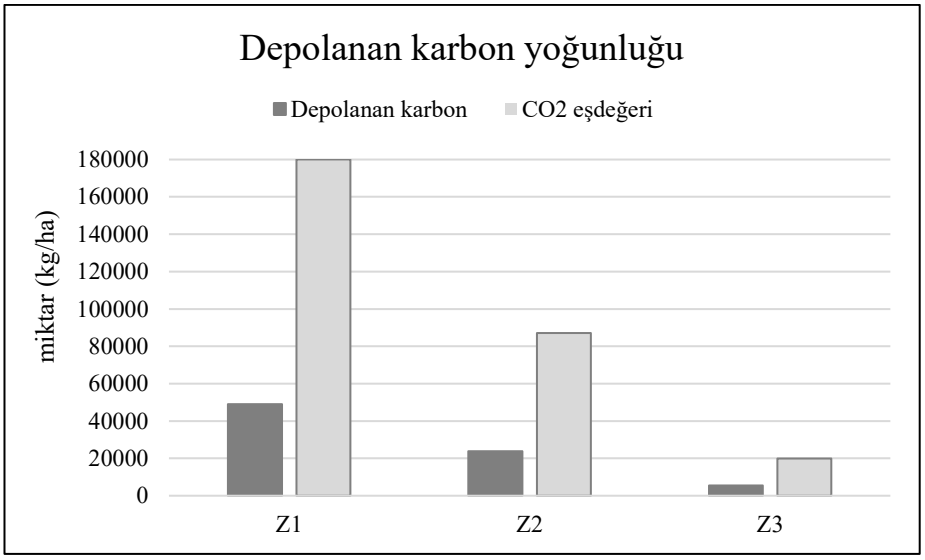
Çizelge 4.88. Meşcerelere göre depolanan karbon, depolanan karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri

Meşcereler	Depolanan karbon (ton)	Depolanan karbon oranı (%)	CO_2 eşdeğeri (ton)	Depolanan karbon yoğunluğu (kg/ha)	CO_2 eşdeğeri (kg/ha)
Z1	3.339,7	76,1	12.245,5	49.098,6	180.044,6
Z2	1.016,2	23,2	3.726,0	23.753,9	87.105,4
Z3	32,0	0,7	117,3	5.430,6	19.913,8
Tüm alan	4.388	100	16.088,8	127.550	467.700



Şekil 4.16. Meşcerelere göre depolanan karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği

Zeytin Park'ta hektar başına depolanan karbon miktarı ve bunun CO_2 eşdeğerine bakıldığında Z1 meşceresinin 49.099 kg ile ilk sırada yer aldığı onu sırasıyla 23.754 kg ile Z2 ve 19.914 kg ile Z3'ün izlediği görülmüştür (Çizelge 4.88 ve Şekil 4.17).



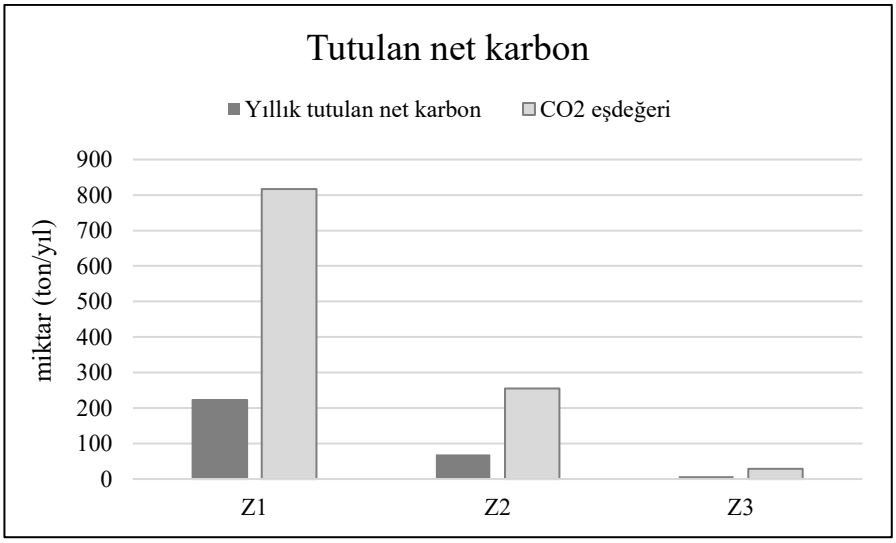
Şekil 4.17. Meşcerelere göre hektar başına depolanan karbon (karbon yoğunluğu) ve CO_2 eşdeğeri grafiği

Zeytin Park'taki ağaçların brüt karbon tutulumu 330,4 ton olup 366.083 Türk lirasına (8.488 Amerikan doları) denk gelmektedir. Net karbon tutulumu ise 310 ton ve CO_2 eşdeğeri 1.100,4 tondur. Ağaç başına tutulan net karbon miktarı 0,03 ton ve hektar başına tutulan net karbon miktarı 9 tondur. Hektar başına tutulan net CO_2 miktarı ise 32 ton olarak tahmin edilmiştir. Zeytin Park'ta yıllık tutulan net karbon miktarına bakıldığında Z1 meşceresinin yılda 222,65 ton ile ilk sırada yer aldığı ve onu sırasıyla 69,61 ton ile Z2 ve 7,81 ton ile Z3'ün izlediği görülmüştür (Çizelge 4.89 ve Şekil 4.18).

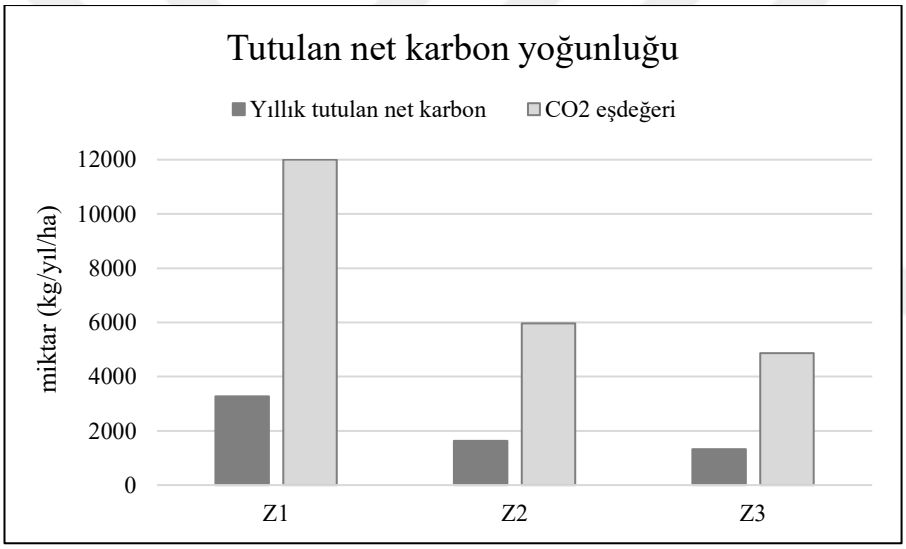
Zeytin Park meşcerelerinde hektar başına yıllık tutulan net karbon miktarına bakıldığında Z1 meşceresinin yılda hektar başına 3.273,23 kg ile ilk sırada olduğu, onu sırasıyla 1.627,28 kg ile Z2 ve 1.325,93 kg ile Z3 meşceresinin izlediği görülmektedir. (Çizelge 4.89 ve Şekil 4.19).

Çizelge 4.89. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon, net karbonun yoğunluğu ve CO_2 eşdeğerleri

Meşcereler	Yıllık tutulan net karbon (ton/yıl)	CO_2 eşdeğeri (ton/yıl)	Yıllık tutulan net karbon yoğunluğu (kg/yıl/ha)	CO_2 eşdeğeri (kg/yıl/ha)
Z1	222,65	816,44	3.273,23	12.002,94
Z2	69,61	255,28	1.627,28	5.967,23
Z3	7,81	28,64	1.325,93	4.862,17
Tüm alan	310	1.100,36	9.000	32.000



Şekil 4.18. Meşcerelere göre tutulan yıllık net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği



Şekil 4.19. Meşcerelere göre hektar başına yıllık tutulan net karbon ve CO_2 eşdeğeri grafiği

4.2.3. Önlenen yüzey akışı ve hidrolojik etkiler

Ağaçlar yağışı tutarken, kök sistemleri infiltrasyon ve depolamayı destekler. Zeytin Park'taki ağaçlar yıllık 786 mm'lik yağışın tahmini 255 m^3 yüzey akışını azaltmaya yardımcı olmuş ve bunun değeri 10.000 Türk lirası (232 Amerikan doları) dır (Çizelge 4.90). Önlenen yüzey akışı miktarı ise ağaç başına 0,02 m^3, hektar başına 7,4 m^3 olarak tahmin edilmiştir. Analizde önlenen akış değeri m^3 başına 41,13 TL fiyatına göre hesaplanmıştır (Önlenen yüzey akışı hesabında kullanılan birim fiyat değerleri için Bkz. Sayfa 64).

Yıllık önlenen yüzey akışı bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en fazla yüzey akışının yılda 186 m^3 ile Z1 meşceresi olup onu sırasıyla 58 m^3 ile Z2 ve 11 m^3 ile Z3 izlemektedir (Şekil 4.20). Tüm alanın yıllık yüzey akışı önleme değeri ise 255 m^3

olup değeri ise 10.491 Türk lirası olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.90).

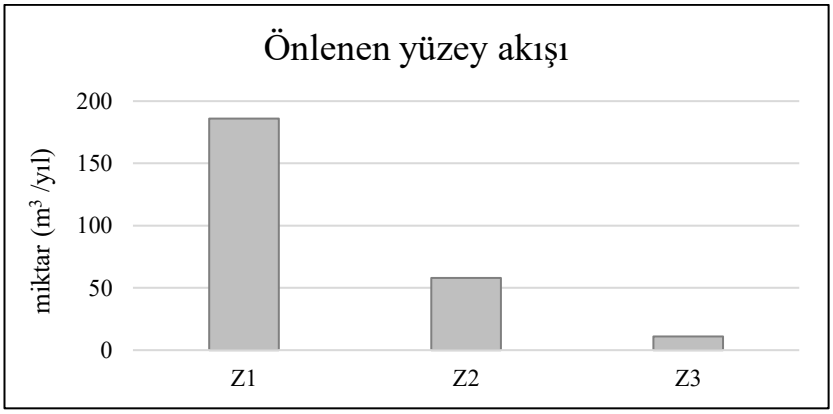
Çizelge 4.90. Meşcerelerin Zeytin Park'taki hidrolojik etkileri

Meşcereler	Ağaç sayısı	Yaprak alanı (ha)	Potansiyel evapotranspirasyon (m^3/yıl)	Evaporasyon (m^3 /yıl)	Transpirasyon (m^3 /yıl)	Kanopide Tutulan su (m^3 /yıl)	Önlenen yüzey akışı (m^3 /yıl)	Önlenen akış değeri (TL/yıl)
Z1	7.387	48,5	195.426,9	14.582,6	12.002	14.583	186	7.665
Z2	2.674	15,0	60.497,5	4.514,3	3.715	4.514	58	2.373
Z3	994	2,9	11.569,3	863,3	711	863	11	454
Total	11.054	66,4	267.493,7	19.960	16.427	19.960	255	10.491

Zeytin Park meşcerelerini yıllık potansiyel evapotranspirasyon bakımından karşılaştırdığımızda en yüksek değer yılda 195.427 m^3 ile Z1 meşceresinde görülmekte olup onu sırasıyla 60.497 m^3 ile Z2 ve 11.569 m^3 ile Z3 izlemektedir. Tüm alanın yıllık toplam potansiyel evapotranspirasyon değeri ise 267.493,7 m^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.90).

Yıllık evaporasyon bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en yüksek değer yılda 14.583 m^3 ile Z1 meşceresi olup onu sırasıyla 4.514 m^3 ile Z2 ve 863 m^3 ile Z3 izlemektedir. Tüm alanın yıllık toplam evaporasyon değeri ise 19.960 m3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.90). i-Tree Eco'da her bir meşcere için kanopide tutulan su değeri evaporasyon değeri ile aynıdır. Bunun nedeni kanopide tutulan suyun çok kısa sürede buharlaşmasıdır. Dolayısıyla yıllık toplam kanopide tutulan su değeri yıllık toplam evaporasyon değeri ile aynıdır (Çizelge 4.90).

Yıllık transpirasyon bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en yüksek değer yılda 12.002 m^3 ile Z1 meşceresi olup onu sırasıyla 3.715 m^3 ile Z2 ve 710,5 m^3 ile Z3 izlemektedir. Tüm alanın yıllık toplam transpirasyon değeri ise 16.427 m^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.90).



Şekil 4.20. Meşcerelere göre yıllık önlenen yüzey akışı grafiği

4.2.4. Oksijen üretimi

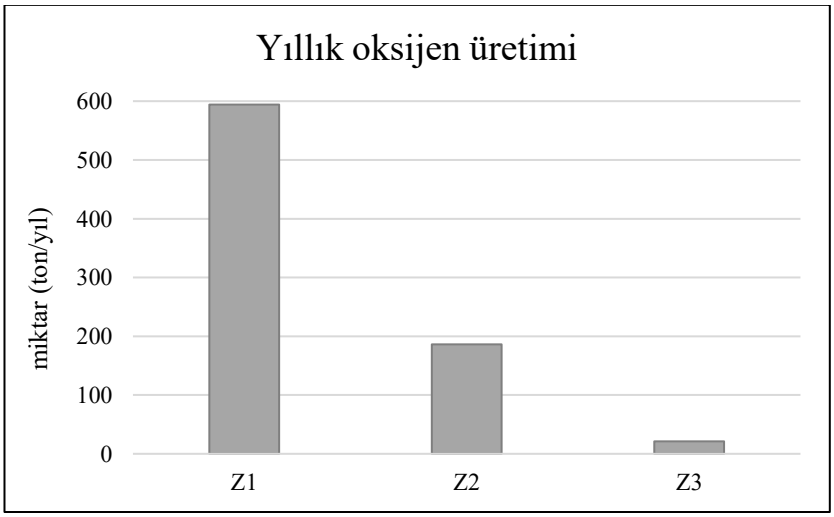
Ağaçların en sık dile getirilen faydalarından biri oksijen üretimidir. Bir ağacın yıllık net oksijen üretimi ağaç tarafından tutulan karbon miktarı ile doğrudan ilişkilidir ve bu da ağaç biyokütlesinin birikimiyle bağlantılıdır. Zeytin Park ağaçlarının yılda 800 metrik ton oksijen ürettiği tahmin edilmiştir (Çizelge 4.91). Üretilen oksijen miktarı ise ağaç başına 0,07 ton, hektar başına 23,255 ton (23.255 kg) olarak tahmin edilmiştir.

Yıllık üretilen oksijen bakımından meşcereleri karşılaştırdığımızda en fazla oksijen üreten meşcere yılda 594 ton ile Z1 meşceresi olup onu sırasıyla 186 ton ile Z2 ve 21 ton ile Z3 izlemektedir (Çizelge 4.91 ve Şekil 4.21).

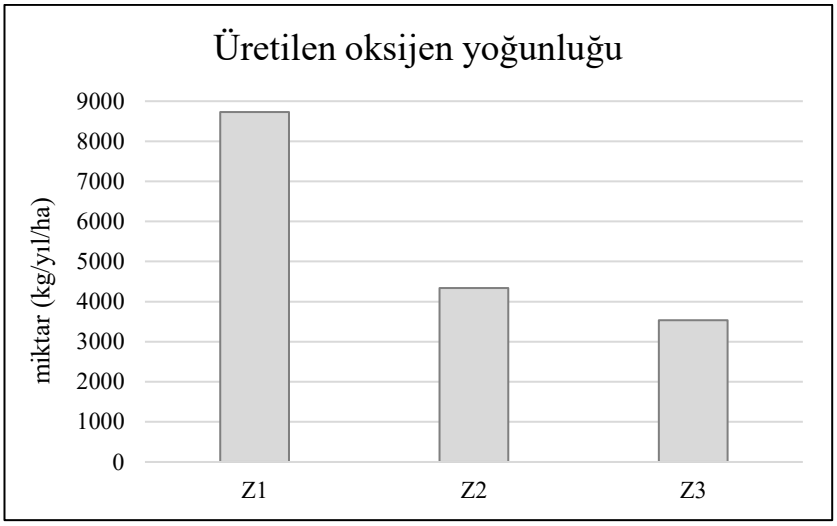
Zeytin Park meşcerelerinde hektar başına yıllık üretilen oksijen miktarına bakıldığında Z1 meşceresinin yılda hektar başına 8.729 kg ile ilk sırada olduğu, onu sırasıyla 4.339 kg ile Z2 ve 3.536 kg ile Z3 meşceresinin izlediği görülmektedir. Tüm çalışma alanında ise hektar başına yıllık üretilen oksijen miktarı 3.019 kg olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.91 ve Şekil 4.22).

Çizelge 4.91. Meşcere bazında, yıllık oksijen üretimi ve hektar başına üretilen oksijen yoğunluğu

Meşcereler	Yıllık oksijen üretimi (ton/yıl)	Yıllık oksijen üretimi yoğunluğu (kg/yıl/ha)
Z1	594	8.729
Z2	186	4.339
Z3	21	3.536
Tüm alan	800	23.255



Şekil 4.21. Meşcerelere göre yıllık oksijen üretimi grafiği



Şekil 4.22. Meşcerelere göre hektar başına yıllık oksijen üretimi grafiği

Alandaki toplam kirlilik gideriminin yılda 1,36 metrik ton olup ekonomik değerinin 3.928.914 Türk lirasına (91.095 Amerikan doları) denk geldiği, karbon depolamanın yılda 4.388 metrik ton olup ekonomik değerinin 4.861.904 Türk lirasına (112.727 Amerikan doları) denk geldiği, karbon tutulumunun 310 metrik ton olup ekonomik değerinin 343.480 Türk lirasına (7.964 Amerikan doları) denk geldiği, önlenen yüzey akışının yılda 255 m^3 olup 10.491 Türk lirasına (243 Amerikan doları) denk geldiği ve oksijen üretiminin yılda 800 metrik ton olduğu bulunmuştur. (Çizelge 4.92).

Zeytin Park'taki ağaçlar tarafından sağlanan tüm bu ekosistem hizmetleri bağlamında sağlanan yıllık toplam fayda 4**.**282.885 TL (99.302 $) olarak hesaplanmıştır. Yılık maliyetler 62.144 TL (1.441 $) hesaplanmış olup, bu değer toplam faydadan çıkarılarak net yıllık fayda 4.220.741 TL (97.861 $) olarak hesaplanmıştır. Yıllık maliyetler "Metot" bölümü "Çizelge 3.1" de verilen yıllık bakım giderleri kullanılarak hesaplanmıştır (Bkz syf. 44). Zeytin Park'taki ağaçların sağladığı ekosistem hizmetlerinin yıllık net ekonomik faydası ağaç başına 381,97 TL (8,9 $), kişi başına ise 6,87 TL (0,2 $) olarak hesaplanmıştır. Yıllık fayda maliyet oranı ise 68,9 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.93).

Çizelge 4.92. Zeytin Park'taki meşcereler bazında ve tüm alanda sağlanan yıllık fayda ve değerleri

Meşcere	Ağaç sayısı	SAĞLANAN FAYDA											
		Karbon depolama			Net karbon tutulumu			Önlenen yüzey akışı			Kirlilik giderimi		
		ton	TL	Amerikan doları	ton/yıl	TL/yıl	Amerikan doları	m^3/yıl	TL/yıl	Amerikan doları	ton/yıl	TL/yıl	Amerikan doları
Z1	7.387	3.340	3.700.720	85.804	230	254.840	5.909	186	7.665	178	0,99	2.870.406	66.552
Z2	2.674	1 016	1.125.728	26.101	72	79.776	1.850	58	2.373	55	0,31	888.580	20.602
Z3	994	32	35.456	822	8	8.864	206	11	454	11	0,06	169.928	3.940
Tüm alan	**11.054**	**4.388**	**4.861.904**	**112.727**	**310**	**343.480**	**7964**	**255**	**10.491**	**243**	**1,36**	**3.928.914**	**91.095**

15 Mart 2026 tarihli döviz kuru (1 $=43,13 TL) baz alınmıştır.

Çizelge 4.93. Zeytin Park'taki toplam sağlanan yıllık fayda ve değerleri

Faydalar	Toplam (TL)	Toplam ($)	TL/Ağaç	TL/Kişi
Net Karbon tutulumu	343.480	7.964	31,10	0,60
Giderilen kirlilik	3.928.914	91.095	355,42	6,40
Önlenen yüzey akışı	10.491	243	0,95	0,02
Toplam yıllık fayda	**4.282.885**	**99.302**	**387,59**	**6,97**
Maliyetler				
Bu dama	6.604	153	0,86	0,03
Riskli ağaç kesimi	18.275	424	1,65	0,03
Ağaç kaldırma	11.203	260	1,01	0,02
Toprak havalandırma	21.766	505	1,97	0,04
Sağlık durumu değerlendirmesi, riskli ağaç tespiti, ağaç envanteri güncelleme,	4.296	100	0,39	0,01
Toplam yıllık maliyetler	**62.144**	**1.441**	**5,62**	**0,10**
Net yıllık fayda	**4.220.741**	**97.861**	**381,97**	**6,87**
Fayda maliyet oranı	**68,9**			

15 Mart 2026 tarihli döviz kuru (1 $=43,13 TL) baz alınmıştır.

4.2.5. Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarının fonksiyonel analizi

Zeytin Park tarafından depolanan karbon miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Depolanan karbon miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.94).

Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış ve logaritmik modelin daha yüksek açıklama gücüne sahip olduğu belirlenmiştir. Logaritmik modelde düzeltilmiş R^2 değerleri 0,994 – 0,997 arasında değişirken, doğrusal modelde bu değerler 0,815 - 0,886 arasında kalmıştır. Bu nedenle düzeltilmiş R^2 değeri daha yüksek bulunduğundan karbon depolama miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.94).

Çizelge 4.94. Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X1	,903	,816	,815	X1	,997	,994	,994
2	X1, X2	,939	,882	,881	X1, X4	,997	,994	,994
3	X1, X2, X4	,942	,887	,886	X1, X4, X2	,998	,997	,997
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan depolanan karbon miktarının, sayısal değerini vermektedir. Depolanan karbon miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.95).

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Model 3'te ağaç yüksekliği değişkeninin katsayısı negatif bulunmuştur. Literatürde sık dikim olmayan durumlarda ağaç yüksekliğinin karbon depolama ile negatif ilişkili olduğunu vurgulayan herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olup negatif katsayılar, değişkenler arasındaki yüksek ilişki nedeniyle ortaya çıkan ortak açıklama etkisini yansıtmaktadır. Bu nedenle katsayının negatif olduğu 3. model kullanılmamıştır. Değerlendirme ve yorumlama için 2. Model esas alınmıştır. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.95).

Depolanan karbon miktarı tahmininde en uygun modelin ağaç gövde çapı ve taç yüksekliğini içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gövde çapı katsayısı 1,511 bulunmuştur (Çizelge 4.95). Bu gövde çapı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 1,511 artacağını ifade etmektedir. Taç yüksekliği katsayısı ise 0,318 olarak bulunmuş olup, taç örtü alanı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,318 artacağını ifade etmektedir.

Gövde çapı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, karbon depolama üzerinde en etkili bağımsız değişken ve taç yüksekliği ise ikinci derecede

önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, ağaç yüksekliği değişkeninin modele eklenmesi, katsayı işaretinde değişime neden olmuştur (Çizelge 4.95).

Çizelge 4.95. Zeytin Park'ta depolanan karbon miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	1,584	,008	211,092	,000
2	X1: Gövde çapı	1,511	,014	106,323	,000
	X4: Taç yüksekliği	,318	,054	5,911	,000
3	X1: Gövde çapı	1,890	,026	71,370	,000
	X4: Taç yüksekliği	,866	,053	16,362	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-1,355	,087	-15,571	,000

4.2.5.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç ince çaplı gövde (1.grup), orta çaplı gövde (2. Grup) ve kalın çaplı gövde (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.96'da verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 392 kg olup, standart sapma değeri 450'dir. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 18,7 kg, orta kalınlıktaki ağaçların 269,4 kg ve kalın ağaçların 900,4 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 15,5 ila 22 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 229,2 ila 309,5 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 784,3 ila 1.016,5 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.96. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	46	18,7478	10,96979	1,61741	15,4902	22,0055	2,9	38,8
2	166	269,362	262,20261	20,35087	229,1804	309,5437	46,5	3063,7
3	74	900,393	501,27438	58,27196	784,2574	1.016,529	547,6	4017,3
Total	286	392,327	450,04433	26,61168	339,9469	444,7076	2,9	4017,3

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta gövde çapı grupları arasında karbon depolama değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Varyans analizi sonucu F değeri 133,6 olarak bulunmuş olup gruplar arası fark oldukça güçlüdür (Çizelge 4.97).

Çizelge 4.97. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	28.031.524,095	2	14.015.762,05	133,6	,000
Gruplar içi	29.692.348,032	283	104.919,96		
Total	57.723.872,127	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.98).

Çizelge 4.98. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-250,61422*	53,97144	,000	-377,7770	-123,451
		3	-881,64542*	60,81699	,000	-1.024,9371	-738,354
	2	1	250,61422*	53,97144	,000	123,4514	377,7770
		3	-631,03120*	45,27566	,000	-737,7057	-524,357
LSD	1	2	-250,61422*	53,97144	,000	-356,8506	-144,378
		3	-881,64542*	60,81699	,000	-1.001,3565	-761,934
	2	1	250,61422*	53,97144	,000	144,3778	356,8506
		3	-631,03120*	45,27566	,000	-720,1510	-541,911
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.5.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç kısa (1.grup), orta (2. Grup) ve uzun (3.grup) olmak üzere üç ağaç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.99'da verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 392 kg olup, standart sapma değeri 450'dir. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 121,9 kg, orta boylu ağaçların 461,4 kg ve uzun boylu ağaçların 584,8 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 82,1 ila 161,7 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 398,2 ila 524,6 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 234,5 ila 935,1 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç boyu arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.99. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	64	121,939	159,35024	19,91878	82,1346	161,7436	2,90	669,20
2	206	461,381	460,05616	32,05363	398,1835	524,5776	4,90	4.017,30
3	16	584,819	657,33785	164,3345	234,5481	935,0894	7,70	2.748,80
Total	286	392,327	450,04433	26,61168	339,9469	444,7076	2,90	4.017,30

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta ağaç yükseklik grupları arasında depolanan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 17,2 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.100).

Çizelge 4.100. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	6.254.155,768	2	3.127.077,884	17,2	,000
Gruplar içi	51.469.716,359	283	181.871,789		
Total	57.723.872,127	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır (Çizelge 4.101).

Çizelge 4.101. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	(J) Ağaç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	**1**	**2**	-339,44152*	61,02966	,000	-483,2343	-195,649
		3	-462,87969*	119,2004	,000	-743,7292	-182,030
	2	**1**	339,44152*	61,02966	,000	195,6488	483,2343
		3	-123,43817	110,6791	,505	-384,2105	137,3342
LSD	**1**	**2**	-339,44152*	61,02966	,000	-459,5712	-219,312
		3	-462,87969*	119,2004	,000	-697,5116	-228,248
	2	**1**	339,44152*	61,02966	,000	219,3118	459,5712
		3	-123,43817	110,6791	,266	-341,2969	94,4205
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında depolanan karbon miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar depolanan karbon miktarının,

belirli bir ağaç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve uzun boylu ağaçların depoladığı karbon miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.101).

4.2.5.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.102'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 392 kg olup, standart sapma değeri 450'dir. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 204,1 kg, orta taçlı ağaçların 486,7 kg ve yüksek taçlı ağaçların 534 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 132,9 ila 275,1 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 410,7 ila 562,6 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 385,4 ila 682,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç yüksekliği arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.102. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	102	204,053	361,88880	35,8323	132,9712	275,1346	2,90	3.063,70
2	145	486,660	462,61498	38,4181	410,7238	562,5962	7,20	4.017,30
3	39	534,013	458,54179	73,4255	385,3708	682,6549	7,70	2.748,80
Total	286	392,327	450,04433	26,6117	339,9469	444,7076	2,90	4.017,30

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç yükseklik grupları arasında depolanan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 15,5 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.103).

Çizelge 4.103. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	5.688.840,022	2	2.844.420,011	15,470	,000
Gruplar içi	52.035.032,106	283	183.869,371		
Total	57.723.872,127	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında karbon depolama miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar depolanan karbon miktarının, belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve yüksek taçlı ağaçların depoladığı karbon miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.104).

Çizelge 4.104. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-282,60706*	55,4139	,000	-413,1685	-152,0456
		3	-329,95988*	80,7294	,000	-520,1675	-139,7523
	2	1	282,60706*	55,4139	,000	152,0456	413,1685
		3	-47,35282	77,3477	,814	-229,5926	134,8870
LSD	1	2	-282,60706*	55,4139	,000	-391,6829	-173,5312
		3	-329,95988*	80,7294	,000	-488,8662	-171,0535
	2	1	282,60706*	55,4139	,000	173,5312	391,6829
		3	-47,35282	77,3477	,541	-199,6026	104,8970
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.5.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.105'te verilmiştir

Çizelge 4.105. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	49	201,859	469,06057	67,00865	67,1293	336,5891	2,90	3063,70
2	220	403,859	370,57122	24,98391	354,6199	453,0992	7,20	2748,80
3	17	792,082	886,20392	214,9360	336,4383	1.247,7264	134,80	4017,30
Total	286	392,327	450,04433	26,61168	339,9469	444,7076	2,90	4017,30

Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 392 kg olup, standart sapma değeri 450'dir. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 201,9 kg, normal taçlı ağaçların 403,9 kg ve geniş taçlı ağaçların 792,1 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 67,1 ila 336,6 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 354,6 ila 453,1 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 336,4 ila 1.247,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç genişlik grupları arasında depolanan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 12 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.106).

Çizelge 4.106. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	4.523.555,194	2	2.261.777,597	12,032	,000
Gruplar içi	53.200.316,933	283	187.986,986		
Total	57.723.872,127	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm taç genişliği grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (dar taçlı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (geniş taçlı) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç genişliği arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.107).

Çizelge 4.107. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	(J) Taç geniş. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-202,0004*	68,49055	,010	-363,3718	-40,6289
		3	-590,2232*	122,0431	,000	-877,7705	-302,6758
	2	1	202,00036*	68,49055	,010	40,6289	363,3718
		3	-388,2228*	109,1446	,001	-645,3798	-131,0659
LSD	1	2	-202,0004*	68,49055	,003	-336,8159	-67,1848
		3	-590,2232*	122,0431	,000	-830,4507	-349,9957
	2	1	202,00036*	68,49055	,003	67,1848	336,8159
		3	-388,22281*	109,1446	,000	-603,0611	-173,3845
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.5.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon depolamasının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç küçük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve büyük taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.108'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon depolama miktarlarının ortalaması 392 kg olup, standart sapma değeri 450'dir. Gruplar itibariyle küçük taçlı ağaçların ortalama karbon depolama miktarı 256,7 kg, orta taçlı ağaçların 420,7 kg ve büyük taçlı ağaçların 792,1 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 167 ila 346,4 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 365,9 ila 475,5 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 336,4 ila 1.247,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon depolama miktarı artmıştır.

Çizelge 4.108. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon depolama değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	88	256,689	423,26483	45,12018	167,0074	346,3699	2,90	3.063,70
2	181	420,727	373,34946	27,75085	365,9682	475,4859	7,20	2.748,80
3	17	792,082	886,20392	214,9360	336,4383	1.247,726	134,80	4.017,30
Total	286	392,327	450,04433	26,61168	339,9469	444,7076	2,90	4.017,30

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç örtü alanı grupları arasında depolanan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 11,9 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.109).

Çizelge 4.109. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	4.481.665,297	2	2.240.832,648	11,911	,000
Gruplar içi	53.242.206,831	283	188.135,006		
Total	57.723.872,127	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında karbon depolama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük taçlı), en yüksek

ortalama değer ise 3. grupta (büyük taçlı) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç örtü alanı arttıkça karbon depolama değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.110).

Çizelge 4.110. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon depolama değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	(J) Taç örtü alanı (m^2) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-164,03844*	56,36770	,011	-296,8471	-31,2298
		3	-535,39372*	114,9115	,000	-806,1382	-264,6492
	2	1	164,03844*	56,36770	,011	31,2298	296,8471
		3	-371,35528*	110,0281	,002	-630,5939	-112,1167
LSD	1	2	-164,03844*	56,36770	,004	-274,9916	-53,0853
		3	-535,39372*	114,9115	,000	-761,5835	-309,2039
	2	1	164,03844*	56,36770	,004	53,0853	274,9916
		3	-371,35528*	110,0281	,001	-587,9326	-154,7779
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.6. Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarının fonksiyonel analizi

Zeytin Park tarafından tutulan karbon miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Tutulan karbon miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.111).

Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değeri logaritmik fonksiyonda 0,990 - 0,992 aralığında iken doğrusal fonksiyonda 0,947 olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş R^2 değerleri daha yüksek bulunduğundan tutulan karbon miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.111).

Çizelge 4.111. Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X1	,973	,947	,947	X1	,995	,990	,990
2	X1, X4	,974	,948	,947	X1, X4	,995	,991	,991
3					X1, X4, X2	,996	,992	,992
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan tutulan karbon miktarının, sayısal değerini vermektedir. Tutulan karbon miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.112).

Çizelge 4.112. Zeytin Park'ta tutulan karbon miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	,919	,005	172,267	,000
2	X1: Gövde çapı	,883	,010	84,723	,000
	X4: Taç yüksekliği	,155	,039	3,944	,000
3	X1: Gövde çapı	1,014	,025	40,431	,000
	X4: Taç yüksekliği	,345	,050	6,877	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,467	,082	-5,674	,000

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Model 3'te ağaç yüksekliği değişkeninin katsayısı negatif bulunmuştur. Literatürde sık dikim olmayan durumlarda ağaç yüksekliğinin karbon tutma ile negatif ilişkili olduğunu vurgulayan herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olup negatif katsayılar, değişkenler arasındaki yüksek ilişki nedeniyle ortaya çıkan ortak açıklama etkisini yansıtmaktadır. Bu nedenle katsayının negatif olduğu 3. model kullanılmamıştır. Değerlendirme ve yorumlama için 2. Model esas alınmıştır. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.112).

Karbon tutma tahmininde en uygun modelin ağaç gövde çapı ve taç yüksekliğini içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gövde çapı katsayısı 0,883 bulunmuştur. Bu gövde çapı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,883 artacağını ifade etmektedir. Taç yüksekliği katsayısı ise 0,155 olarak bulunmuş olup, taç örtü alanı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,155 artacağını ifade etmektedir (Çizelge 4.112).

Gövde çapı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, karbon tutma üzerinde en etkili bağımsız değişken ve taç yüksekliği ise ikinci derecede önemli

değişken olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, ağaç yüksekliği değişkeninin modele eklenmesi, katsayı işaretinde değişime neden olmuştur (Çizelge 4.112).

4.2.6.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç ince çaplı gövde (1.grup), orta çaplı gövde (2. Grup) ve kalın çaplı gövde (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların C depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.113'te verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 27,2 kg olup, standart sapma değeri 15,5'tir. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 5,8 kg, orta çaplı ağaçların 24,5 kg ve kalın çaplı ağaçların 46,6 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 5,2 ila 6,4 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 23,2 ila 25,8 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 44,6 ila 48,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.113. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	46	5,7804	2,02206	,29814	5,1800	6,3809	2,30	9,10
2	166	24,5187	8,58333	,66620	23,2033	25,8340	7,60	38,90
3	74	46,6027	8,86033	1,02999	44,5499	48,6555	2,70	57,00
Total	286	27,2189	15,47238	,91490	25,4181	29,0197	2,30	57,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta gövde çapı grupları arasında tutulan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 392,7 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.114).

Çizelge 4.114. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	50.156,454	2	25.078,227	392,736	,000
Gruplar içi	18.071,024	283	63,855		
Total	68.227,478	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında karbon tutma değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar

bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı arttıkça karbon tutma değerinin anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.115).

Çizelge 4.115. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-18,73824*	1,33148	,000	-21,8753	-15,6011
		3	-40,82227*	1,50035	,000	-44,3573	-37,2873
	2	1	18,73824*	1,33148	,000	15,6011	21,8753
		3	-22,08403*	1,11695	,000	-24,7157	-19,4524
LSD	1	2	-18,73824*	1,33148	,000	-21,3591	-16,1174
		3	-40,82227*	1,50035	,000	-43,7755	-37,8690
	2	1	18,73824*	1,33148	,000	16,1174	21,3591
		3	-22,08403*	1,11695	,000	-24,2826	-19,8854
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.6.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç kısa boylu (1.grup), orta boylu (2. Grup) ve uzun boylu gövde (3.grup) olmak üzere üç ağaç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.116'da verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 27,2 kg olup, standart sapma değeri 15,5'tir. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 14,5 kg, orta boylu ağaçların 30,9 kg ve uzun boylu ağaçların 30,9 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 11,8 ila 17,1 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 28,9 ila 32,9 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 22,2 ila 39,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç yüksekliği arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.116. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	64	14,4594	10,47994	1,30999	11,8416	17,0772	2,30	44,60
2	206	30,8961	14,62221	1,01878	28,8875	32,9047	2,70	57,00
3	16	30,9125	16,43982	4,10996	22,1523	39,6727	4,00	54,10
Total	286	27,2189	15,47238	,91490	25,4181	29,0197	2,30	57,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta ağaç yükseklik grupları arasında tutulan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 34,7 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.117).

Çizelge 4.117. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	**Serbestlik derecesi**	**Kareler ortalaması**	**F**	**Önem düzeyi**
Gruplar arası	13.423,349	2	6.711,675	34,658	,000
Gruplar içi	54.804,129	283	193,654		
Total	68.227,478	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında karbon tutma miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar karbon tutma miktarının, belirli bir ağaç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve uzun boylu ağaçların karbon tutma miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.118).

Çizelge 4.118. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	**(J) Ağaç yüks. (m) grup**	**Ortalama fark (I-J)**	**Std. hata**	**Önem düzeyi**	**% 95 Güven aralığı**	
						Alt sınır	**Üst sınır**
Tukey HSD	1	2	-16,43674*	1,99146	,000	-21,1288	-11,7446
		3	-16,45313*	3,88963	,000	-25,6175	-7,2887
	2	1	16,43674*	1,99146	,000	11,7446	21,1288
		3	-,01638	3,61157	1,000	-8,5257	8,4929
LSD	1	2	-16,43674*	1,99146	,000	-20,3567	-12,5168
		3	-16,45313*	3,88963	,000	-24,1094	-8,7968
	2	1	16,43674*	1,99146	,000	12,5168	20,3567
		3	-,01638	3,61157	,996	-7,1253	7,0926
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.6.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.119'da verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 27,2 kg olup, standart sapma değeri 15,5'tir. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 517,7 kg, orta çaplı ağaçların 32,1 kg ve yüksek taçlı ağaçların 33,9 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 15,2 ila 20,2 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 29,7 ila 34,5 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 29,8 ila 38,1 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç yüksekliği arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.119. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	102	17,7147	12,66567	1,25409	15,2269	20,2025	2,30	56,30
2	145	32,0841	14,76304	1,22600	29,6608	34,5074	2,70	57,00
3	39	33,9872	12,78186	2,04674	29,8438	38,1306	4,00	54,10
Total	286	27,2189	15,47238	,91490	25,4181	29,0197	2,30	57,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç yükseklik grupları arasında tutulan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 37,9 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.120).

Çizelge 4.120. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	14.432,433	2	7.216,216	37,962	,000
Gruplar içi	53.795,045	283	190,088		
Total	68.227,478	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında karbon tutma miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar karbon tutma miktarının, belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve yüksek taçlı ağaçların karbon tutma miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.121).

Çizelge 4.121. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-14,36943*	1,78173	,000	-18,5674	-10,1715
		3	-16,27247*	2,59570	,000	-22,3882	-10,1567
	2	1	14,36943*	1,78173	,000	10,1715	18,5674
		3	-1,90304	2,48697	,725	-7,7626	3,9565
LSD	1	2	-14,36943*	1,78173	,000	-17,8766	-10,8623
		3	-16,27247*	2,59570	,000	-21,3818	-11,1631
	2	1	14,36943*	1,78173	,000	10,8623	17,8766
		3	-1,90304	2,48697	,445	-6,7983	2,9923
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.6.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç genişliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon tutma miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.122'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 27,2 kg olup, standart sapma değeri 15,5'tir. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 15,1 kg, normal taçlı ağaçların 29,1 kg ve geniş taçlı ağaçların 37,1 kg'dır. Karbon tutma miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 11,5 ila 18,7 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 27,2 ila 31,1 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 29,5 ila 44,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.122. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	49	15,1327	12,51683	1,78812	11,5374	18,7279	2,30	56,60
2	220	29,1468	14,73985	,99376	27,1883	31,1054	3,60	57,00
3	17	37,1059	14,76772	3,58170	29,5130	44,6987	2,70	55,80
Total	286	27,2189	15,47238	,91490	25,4181	29,0197	2,30	57,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç genişlik grupları arasında tutulan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 23,3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.123).

Çizelge 4.123. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	**Serbestlik derecesi**	**Kareler ortalaması**	**F**	**Önem düzeyi**
Gruplar arası	9.637,293	2	4.818,647	23,275	,000
Gruplar içi	58.590,185	283	207,032		
Total	68.227,478	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında karbon tutma miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır($p<0,05$). Sonuçlar karbon tutma miktarının, belirli bir taç genişliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında normal ve geniş taçlı ağaçların karbon tutma miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.124).

Çizelge 4.124. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	**(J) Taç geniş. (m) grup**	**Ortalama fark (I-J)**	**Std. hata**	**Önem düzeyi**	**% 95 Güven aralığı**	
						Alt sınır	**Üst sınır**
Tukey HSD	1	2	-14,01417*	2,27293	,000	-19,3694	-8,6589
		3	-21,97323*	4,05013	,000	-31,5158	-12,4307
	2	1	14,01417*	2,27293	,000	8,6589	19,3694
		3	-7,95906	3,62208	,073	-16,4931	,5750
LSD	1	2	-14,01417*	2,27293	,000	-18,4882	-9,5402
		3	-21,97323*	4,05013	,000	-29,9454	-14,0010
	2	1	14,01417*	2,27293	,000	9,5402	18,4882
		3	-7,95906*	3,62208	,029	-15,0887	-,8294
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.6.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların karbon tutma miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç küçük (1.grup), orta (2. Grup) ve büyük (3.grup) olmak üzere üç taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların karbon depolama miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.125'te verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam karbon tutma miktarlarının ortalaması 27,2 kg olup, standart sapma değeri 15,5'tir. Gruplar itibariyle küçük ağaçların ortalama karbon tutma miktarı 19,6 kg, orta ağaçların 29,9 kg ve büyük ağaçların 37,1 kg'dır. Karbon depolama miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 16,8 ila 22,5 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 27,8 ila 32,2 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 29,5 ila 44,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça karbon tutma miktarı artmıştır.

Çizelge 4.125. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına karbon tutma değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	88	19,6261	13,50125	1,43924	16,7655	22,4868	2,30	56,60
2	181	29,9818	15,04858	1,11855	27,7746	32,1889	3,60	57,00
3	17	37,1059	14,76772	3,58170	29,5130	44,6987	2,70	55,80
Total	286	27,2189	15,47238	,91490	25,4181	29,0197	2,30	57,00

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç örtü alanı grupları arasında tutulan karbon miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 19,1 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.126).

Çizelge 4.126. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	8.116,649	2	4.058,324	19,106	,000
Gruplar içi	60.110,829	283	212,406		
Total	68.227,478	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında karbon tutma miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar karbon tutma miktarının, belirli bir taç örtü alanı eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve büyük ağaçların karbon tutma miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.127).

Çizelge 4.127. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre karbon tutma değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	(J) Taç örtü alanı (m^2) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-10,35563*	1,89399	,000	-14,8181	-5,8932
		3	-17,47975*	3,86111	,000	-26,5770	-8,3825
	2	1	10,35563*	1,89399	,000	5,8932	14,8181
		3	-7,12411	3,69702	,133	-15,8347	1,5865
LSD	1	2	-10,35563*	1,89399	,000	-14,0837	-6,6275
		3	-17,47975*	3,86111	,000	-25,0799	-9,8796
	2	1	10,35563*	1,89399	,000	6,6275	14,0837
		3	-7,12411	3,69702	,055	-14,4013	,1530
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.7. Zeytin Park'ın önlediği yüzey akış miktarının fonksiyonel analizi

Zeytin Park'ın önlediği yüzey akış miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yüzey akışında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.128).

Çizelge 4.128. Zeytin Park'ta önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X3	,636	,404	,402	X1	,994	,988	,988
2	X3, X2	,680	,462	,458	X1, X4	,996	,992	,992
3	X3, X2, X4	,712	,508	,502				
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Kepez Kent Ormanı'nda önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değeri logaritmik fonksiyonda (0,988 - 0,992) doğrusal fonksiyona (0,402 – 0,502) göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.128). Ancak katsayılar negatif olduğu için (Çizelge 4.129), logaritmik model kullanılmamıştır. Doğrusal fonksiyon modelinde katsayılar pozitif olmasına rağmen (Çizelge 4.130), düzeltilmiş R^2 değerleri 0,402 ile 0,502 arasında olup bu değerler düşük bulunmuştur. Bunun nedeni önlenen yüzey akışında kullanılan bağımsız değişkenlerin yanında, yağış miktarı, rüzgar, mevsimsellik gibi çevresel faktörlerinde etkili olmasıdır. Bu bağlamda her iki modelinde önlenen yüzey akışını açıklamada

yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle diğer bağımlı değişkenlere uygulanan analizler önlenen yüzey akışı değişkeni için uygulanamamıştır.

Çizelge 4.129. Zeytin Park'ta önlenen yüzey akış miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1:Gövde çapı	-,582	,012	-48,821	,000
2	X1: Gövde çapı	-,363	,059	-6,101	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	-,518	,138	-3,746	,001

Çizelge 4.130. Zeytin Park'ta önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X3: Taç örtü alanı	1,543	,004	350,115	,000
2	X3: Taç örtü alanı	1,185	,026	46,222	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,334	,024	14,095	,000
3	X3: Taç örtü alanı	1,269	,031	40,334	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,318	,024	13,538	,000
	X4: Taç yüksekliği	-,116	,026	-4,439	,000

4.2.8. Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarının fonksiyonel analizi

Zeytin Park tarafından giderilen kirlilik miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Giderilen kirlilik miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.131).

Çizelge 4.131. Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X3	,959[a]	,919	,919	X3	,990[a]	,981	,981
2	X3, X2	,962[c]	,925	,924	X3, X2	,996[c]	,993	,993
3	X3, X2, X4	,972[d]	,944	,944	X3, X2, X1	,997[d]	,995	,995
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değeri logaritmik fonksiyonda 0,981 - 0,995 aralığında iken doğrusal fonksiyonda 0,919 - 0,944 aralığında bulunmuştur. Düzeltilmiş R^2 değerleri daha yüksek bulunduğundan giderilen kirlilik miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.131).

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan giderilen kirlilik miktarının, sayısal değerini vermektedir. Giderilen kirlilik miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir. Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.132).

Çizelge 4.132. Zeytin Park'ta giderilen kirlilik miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X3: Taç örtü alanı	1,646	,014	121,468	,000
2	X3: Taç örtü alanı	1,053	,028	37,454	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	1,260	,057	22,048	,000
3	X3: Taç örtü alanı	,954	,026	36,191	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,740	,073	10,173	,000
	X1: Gövde çapı	,278	,028	9,773	,000

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Gövde çapı katsayısı 0,443 bulunmuştur. Bu gövde çapı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,443 artacağını ifade etmektedir. Taç örtü alanı katsayısı ise 0,326 olarak bulunmuş olup, taç örtü alanı 0,01 arttığında tutulan karbon miktarının 0,326 artacağını ifade etmektedir (Çizelge 4.132).

Giderilen kirlilik miktarı tahmininde en uygun modelin taç örtü alanı, ağaç yüksekliği ve göğüs yüksekliğindeki ağaç gövde çapı içeren model 3 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Taç örtü alanı katsayısı 0,954 bulunmuştur. Bu, taç örtü alanı 0,01 arttığında, giderilen kirlilik miktarının 0,954 artacağını ifade etmektedir. Ağaç yüksekliği katsayısı 0,740 bulunmuştur. Bu, ağaç yüksekliği 0,01 arttığında giderilen

kirlilik miktarının 0,740 artacağını ifade etmektedir. Gövde çapı katsayısı 0,278 bulunmuştur. Bu, gövde çapı 0,01 arttığında giderilen kirlilik miktarının 0,278 artacağını ifade etmektedir. Taç örtü alanı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, giderilen kirlilik üzerinde en etkili bağımsız değişken, ağaç yüksekliği ise ikinci derecede önemli değişken ve gövde çapı üçüncü derecede önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. (Çizelge 4.132).

4.2.8.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç ince çaplı gövde (1.grup), orta çaplı gövde (2. Grup) ve kalın çaplı gövde (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların önledikleri kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.133'te verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam önledikleri kirlilik miktarlarının ortalaması 119 g olup, standart sapma değeri 122'dir. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama önlediği kirlilik miktarı 34,7 g, orta kalınlıktaki ağaçların 110,6 g ve kalın ağaçların 190,5 g'dır. Önlenen kirlilik miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 26,6 ila 42,8 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 93,6 ila 127,7 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 157,6 ila 223,3 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça önlenen kirlilik miktarı artmıştır.

Çizelge 4.133. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	46	34,6935	27,35058	4,03262	26,5714	42,8156	2,40	122,70
2	166	110,627	111,36476	8,64358	93,5608	127,6934	3,60	704,80
3	74	190,449	141,90227	16,4958	157,5726	223,3247	7,60	938,50
Total	286	119,067	122,34989	7,23470	104,8269	133,3074	2,40	938,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta gövde çapı grupları arasında giderilen kirlilik miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 28,16 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.134).

Çizelge 4.134. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	716.348,610	2	358.174,305	28,553	,000
Gruplar içi	3.549.957,321	283	12.544,019		
Total	4.266.305,931	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında giderilen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.135).

Çizelge 4.135. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-75,93363*	18,66179	,000	-119,9029	-31,9644
		3	-155,75517*	21,02879	,000	-205,3014	-106,2090
	2	1	75,93363*	18,66179	,000	31,9644	119,9029
		3	-79,82154*	15,65504	,000	-116,7066	-42,9365
LSD	1	2	-75,93363*	18,66179	,000	-112,6672	-39,2001
		3	-155,75517*	21,02879	,000	-197,1479	-114,3625
	2	1	75,93363*	18,66179	,000	39,2001	112,6672
		3	-79,82154*	15,65504	,000	-110,6366	-49,0065
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.8.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç kısa boylu (1.grup), orta boylu (2. Grup) ve uzun boylu (3.grup) olmak üzere üç ağaç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.136'da verilmiştir.

Çizelge 4.136. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	64	35,4187	31,94296	3,99287	27,4396	43,3979	2,40	187,90
2	206	126,424	101,17329	7,04908	112,5258	140,3218	6,30	704,80
3	16	358,944	219,70041	54,9251	241,8737	476,0138	7,30	938,50
Total	286	119,067	122,34989	7,23470	104,8269	133,3074	2,40	938,50

Buna göre tüm ağaçların toplam giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalaması 119 g olup, standart sapma değeri 122'dir. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama giderdiği kirlilik miktarı 35,4 g, orta boylu ağaçların 126,4 g ve uzun boylu ağaçların 358,9 g'dır. Giderilen kirlilik miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 27,4 ila 43,4 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 112,5 ila 140,3 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 241,9 ila 476 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç boyu arttıkça önlenen kirlilik miktarı artmıştır.

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği grupları arasında giderilen kirlilik miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 67,63 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.137).

Çizelge 4.137. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	**Serbestlik derecesi**	**Kareler ortalaması**	**F**	**Önem düzeyi**
Gruplar arası	1.379.612,781	2	689.806,390	67,626	,000
Gruplar içi	2.886.693,150	283	10.200,329		
Total	4.266.305,931	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm ağaç yükseklik grupları arasında giderilen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (kısa boylu), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (uzun boylu) gözlenmiştir. Sonuçlar, ağaç yüksekliği arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.138).

Çizelge 4.138. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks.(m) grup	**(J) Ağaç yüks. (m) grup**	**Ortalama fark (I-J)**	**Std. hata**	**Önem düzeyi**	**% 95 Güven aralığı**	
						Alt sınır	**Üst sınır**
Tukey HSD	1	2	-91,00504*	14,4533	,000	-125,0585	-56,9516
		3	-323,52500*	28,2294	,000	-390,0367	-257,0133
	2	1	91,00504*	14,4533	,000	56,9516	125,0585
		3	-232,51996*	26,2114	,000	-294,2769	-170,7630
LSD	1	2	-91,00504*	14,4532	,000	-119,4545	-62,5555
		3	-323,52500*	28,2294	,000	-379,0913	-267,9587
	2	1	91,00504*	14,4533	,000	62,5555	119,4545
		3	-232,51996*	26,2114	,000	-284,1140	-180,9259
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.8.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.139'da verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalaması 119 g olup, standart sapma değeri 122'dir. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama önlediği kirlilik miktarı 52 g, orta taçlı ağaçların 114,3 g ve yüksek taçlı ağaçların 312,3 g'dır. Giderilen kirlilik miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 40,6 ila 63,5 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 102,9 ila 125,7 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 252 ila 372,5 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç yüksekliği arttıkça giderilen kirlilik miktarı artmıştır.

Çizelge 4.139. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	102	52,0412	58,21317	5,76396	40,6070	63,4753	2,40	427,30
2	145	114,253	69,46994	5,76916	102,8499	125,6563	8,30	331,80
3	39	312,264	185,79945	29,7517	252,0349	372,4933	7,30	938,50
Total	286	119,067	122,34989	7,23470	104,8269	133,3074	2,40	938,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta ağaç taç yüksekliği grupları arasında giderilen kirlilik miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 115,5 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.140).

Çizelge 4.140. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	1.917.270,893	2	958.635,447	115,492	,000
Gruplar içi	2.349.035,038	283	8.300,477		
Total	4.266.305,931	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm taç yükseklik grupları arasında giderilen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (düşük taçlı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (yüksek taçlı) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç yüksekliği

arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.141).

Çizelge 4.141. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-62,21193*	11,7738	,000	-89,9523	-34,4716
		3	-260,22293*	17,1526	,000	-300,6363	-219,8096
	2	1	62,21193*	11,7738	,000	34,4716	89,9523
		3	-198,01100*	16,4340	,000	-236,7314	-159,2906
LSD	1	2	-62,21193*	11,7738	,000	-85,3872	-39,0366
		3	-260,22293*	17,1526	,000	-293,9857	-226,4602
	2	1	62,21193*	11,7738	,000	39,0366	85,3872
		3	-198,01100*	16,4340	,000	-230,3595	-165,6625
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.8.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç genişlik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.142'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalaması 119 g olup, standart sapma değeri 122'dir. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama önlediği kirlilik miktarı 14,6 g, normal taçlı ağaçların 115,3 g ve geniş taçlı ağaçların 468,3 g'dır. Giderilen kirlilik miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 12,2 ila 17,1 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 105,4 ila 125,3 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 383,9 ila 552,7 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça giderilen kirlilik miktarı artmıştır.

Çizelge 4.142. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	49	14,6408	8,37976	1,19711	12,2339	17,0478	2,40	41,80
2	220	115,337	74,66514	5,03392	105,4157	125,2580	7,60	381,80
3	17	468,335	164,09536	39,7989	383,9652	552,7053	286,70	938,50
Total	286	119,067	122,34989	7,23470	104,8269	133,3074	2,40	938,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç genişlik grupları arasında giderilen kirlilik miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 223,2 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.143).

Çizelge 4.143. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	2.611.199,502	2	1.305.599,751	223,239	,000
Gruplar içi	1.655.106,429	283	5.848,433		
Total	4.266.305,931	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm taç genişliği grupları arasında giderilen kirlilik değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (dar taçlı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (geniş taçlı) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç genişliği arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.144).

Çizelge 4.144. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	(J) Taç geniş. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-100,69600*	12,0805	,000	-129,1591	-72,2329
		3	-453,69448*	21,5263	,000	-504,4128	-402,9761
	2	1	100,69600*	12,0805	,000	72,2329	129,1591
		3	-352,99848*	19,2512	,000	-398,3565	-307,6405
LSD	1	2	-100,69600*	12,0805	,000	-124,4751	-76,9169
		3	-453,69448*	21,5263	,000	-496,0664	-411,3225
	2	1	100,69600*	12,0805	,000	76,9169	124,4751
		3	-352,99848*	19,2512	,000	-390,8922	-315,1047
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.8.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların giderdiği kirlilik miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç küçük (1.grup), orta (2. Grup) ve büyük (3.grup) olmak üzere üç taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.145'te verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam giderdikleri kirlilik miktarlarının ortalaması 119 g olup, standart sapma değeri 122'dir. Gruplar itibariyle küçük ağaçların ortalama giderdiği kirlilik miktarı 26,9 g, orta ağaçların 131,1 g ve büyük ağaçların 468,3 g'dır. Giderilen kirlilik miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 22,5 ila 31,4 g arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 120,4 ila 141,7 g arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise

383,9 ila 552,7 g arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça giderilen kirlilik miktarı artmıştır.

Çizelge 4.145. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına önlenen kirlilik değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (g)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (g)	Üst sınır (g)		
1	88	26,9477	20,82759	2,22023	22,5348	31,3607	2,40	100,10
2	181	131,050	72,69312	5,40324	120,3884	141,7121	24,70	381,80
3	17	468,335	164,09536	39,7989	383,9652	552,7053	286,70	938,50
Total	286	119,067	122,34989	7,23470	104,8269	133,3074	2,40	938,50

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç örtü alanı grupları arasında giderilen kirlilik miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 283,7 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.146).

Çizelge 4.146. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	2.846.557,720	2	1.423.278,860	283,704	,000
Gruplar içi	1.419.748,211	283	5.016,778		
Total	4.266.305,931	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.147. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	(J) Taç örtü alanı (m^2) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-104,10255*	9,20466	,000	-125,7898	-82,4153
		3	-441,38757*	18,7647	,000	-485,5993	-397,1759
	2	1	104,10255*	9,20466	,000	82,4153	125,7898
		3	-337,28502*	17,9672	,000	-379,6178	-294,9522
LSD	1	2	-104,10255*	9,20466	,000	-122,2208	-85,9843
		3	-441,38757*	18,7647	,000	-478,3236	-404,4515
	2	1	104,10255*	9,20466	,000	85,9843	122,2208
		3	-337,28502*	17,9672	,000	-372,6514	-301,9186
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

Test sonuçlarına göre, tüm taç örtü alanı grupları arasında giderilen kirlilik miktarları bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (küçük), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (büyük) gözlenmiştir. Sonuçlar, taç örtü alanı arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.147).

4.2.9. Zeytin Park'ın ürettiği oksijen miktarının fonksiyonel analizi

Zeytin Park tarafından üretilen oksijen miktarı ile ağaç gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç genişliği ve taç örtü alanı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Üretilen oksijen miktarında etkili bağımsız değişkenlerden taç genişliği, taç örtü alanı ile tam korelasyon gösterdiği için modellere dahil edilmemiştir (Çizelge 4.148).

Zeytin Park'ta üretilen oksijen miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, düzeltilmiş R^2 değeri logaritmik fonksiyonda 0,996 iken doğrusal fonksiyonda 0,947 - 0,948 aralığında bulunmuştur. Düzeltilmiş R^2 değerleri daha yüksek bulunduğundan karbon depolama miktarı üzerinde etkili değişkenlerin analizinde logaritmik fonksiyon modeli kullanılmıştır (Çizelge 4.148).

Çizelge 4.148. Zeytin Park'ta üretilen oksijen miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modellerinin karşılaştırılması

Model	Doğrusal Fonksiyon Modeli				Logaritmik Fonksiyon Modeli			
	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Açıklayıcı değişkenler*	R	R^2	Düzeltilmiş R^2
1	X1	,973	,947	,947	X1	,998	,996	,996
2	X1, X4	,974	,948	,948	X1, X2	,998	,996	,996
*: X1:gövde çapı(cm), X2: ağaç yüksekliği(m), X3: taç örtü alanı (m^2), X4: taç yüksekliği (m)								

Bu analizde öncellikle modellerin teorik beklentilere uygunluğu değerlendirilmiştir. Dolayısıyla sabit terim bize açıklayıcı değişkenler (Gövde çapı, ağaç yüksekliği, taç yüksekliği, taç örtü alanı) sıfır olduğunda bağımlı değişken olan üretilen oksijen miktarının, sayısal değerini vermektedir. Üretilen oksijen miktarı negatif olamayacağı için sabit terimin sıfır veya pozitif olması beklenir. Ancak yapılan tahminlerde sabit terimin negatif bulunması teorik olarak ilgili katsayının anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sabit terimin sıfır olduğu varsayılarak model tahmin edilmiş ve tahmin edilen model aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.149).

Tahmin edilen modelin seçiminde öncelikle katsayıların teorik beklentileri karşılayıp karşılamadığı değerlendirmesi yapılmıştır. Katsayıların işaretleri bağımlı değişkenle açıklayıcı değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Katsayının pozitif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin artması anlamına gelmektedir. Katsayının negatif olması demek açıklayıcı değişken artarken bağımlı değişkenin azalması anlamına gelmektedir.

Tüm modellerde katsayıların tamamı 0,01 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Oksijen üretimi tahmininde en uygun modelin göğüs yüksekliğindeki ağaç gövde çapı ve ağaç yüksekliğini içeren model 2 olduğu belirlenmiştir. Bu modelde yer alan tüm değişkenler pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Gövde çapı katsayısı 1,156 bulunmuş olup bu durum gövde çapı 0,01 arttığında üretilen oksijen miktarının 1,156 artacağını ifade etmektedir. Ağaç yüksekliği katsayısı 0,119 bulunmuş olup bu durum ağaç yüksekliği 0,01 arttığında üretilen oksijen miktarının 0,119 artacağını ifade etmektedir. Gövde çapı değişkeni tüm modellerde en yüksek katsayıya sahip olup, üretilen oksijen üzerinde en etkili bağımsız değişken ve ağaç yüksekliği ise ikinci derecede önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. (Çizelge 4.149).

Çizelge 4.149. Zeytin Park'ta üretilen oksijen miktarı için logaritmik regresyon modeli sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış katsayılar		t	Önem düzeyi
		B	Std. Hata		
1	X1: Gövde çapı	1,200	,005	261,422	,000
2	X1: Gövde çapı	1,156	,022	53,369	,000
	X2: Ağaç yüksekliği	,119	,057	2,087	,038

4.2.9.1. Gövde çapı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç ince çaplı gövde (1.grup), orta çaplı gövde (2. Grup) ve kalın çaplı gövde (3.grup) olmak üzere üç gövde çapı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların oksijen üretim miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.150'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam oksijen üretim miktarlarının ortalaması 72,6 kg olup, standart sapma değeri 41,3'tür. Gruplar itibariyle ince çaplı ağaçların ortalama oksijen üretim miktarı 15,4 kg, orta kalınlıktaki ağaçların 65,4 kg ve kalın ağaçların 124,3 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 13,8 ila 17 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 61,9 ila 68,9 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 118,8 ila 129,8 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç çapı kalınlaştıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.150. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gövde çapı (cm) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	46	15,4065	5,40865	,79746	13,8004	17,0127	6,10	24,40
2	166	65,3717	22,85963	1,77425	61,8685	68,8748	20,30	103,80
3	74	124,285	23,62457	2,74630	118,8118	129,7585	7,30	152,10
Total	286	72,5787	41,25682	2,43957	67,7768	77,3805	6,10	152,10

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta gövde çapı grupları arasında üretilen oksijen miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 393,6 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.151).

Çizelge 4.151. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre giderilen kirlilik değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	356.823,581	2	178.411,791	393,590	,000
Gruplar içi	128.282,039	283	453,293		
Total	485.105,620	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Testi sonuçlarına göre, tüm gövde çapı grupları arasında üretilen oksijen miktarı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük ortalama değer 1. grupta (ince çaplı), en yüksek ortalama değer ise 3. grupta (kalın çaplı) gözlenmiştir. Sonuçlar, gövde çapı arttıkça üretilen oksijen miktarının anlamlı şekilde arttığını göstermektedir (Çizelge 4.152).

Çizelge 4.152. Zeytin Park'ta gövde çapı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Gövde çapı (cm) grup	(J) Gövde çapı (cm) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-49,96517*	3,54752	,000	-58,3235	-41,6068
		3	-108,87861*	3,99747	,000	-118,2971	-99,4601
	2	1	49,96517*	3,54752	,000	41,6068	58,3235
		3	-58,91345*	2,97595	,000	-65,9251	-51,9018
LSD	1	2	-49,96517*	3,54752	,000	-56,9480	-42,9823
		3	-108,87861*	3,99747	,000	-116,7472	-101,0101
	2	1	49,96517*	3,54752	,000	42,9823	56,9480
		3	-58,91345*	2,97595	,000	-64,7713	-53,0556
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.9.2. Ağaç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç kısa boylu (1.grup), orta boylu (2. Grup) ve uzun boylu (3.grup) olmak üzere üç ağaç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların oksijen üretim miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.153'te verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam oksijen üretim miktarlarının ortalaması 72,6 kg olup, standart sapma değeri 41,3'tür. Gruplar itibariyle kısa boylu ağaçların ortalama oksijen üretim miktarı 38,6 kg, orta boylu ağaçların 82,4 kg ve kalın ağaçların 82,4 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 316 ila 45,5 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 77 ila 87,7 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 59,1 ila 105,9 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Buna göre oksijen üretimi belirli bir ağaç yüksekliğine kadar artmış, ancak daha yüksek değerlerde artış sınırlı kalmıştır.

Çizelge 4.153. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Ağaç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	64	38,5562	27,94363	3,49295	31,5761	45,5364	6,10	118,90
2	206	82,3806	38,98645	2,71631	77,0251	87,7361	7,30	152,10
3	16	82,4687	43,88272	10,9707	59,0853	105,8522	10,60	144,40
Total	286	72,5787	41,25682	2,43957	67,7768	77,3805	6,10	152,10

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta ağaç yükseklik grupları arasında üretilen oksijen miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 34,6 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.154).

Çizelge 4.154. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	95.438,586	2	47.719,293	34,657	,000
Gruplar içi	389.667,034	283	1.376,915		
Total	485.105,620	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında üretilen oksijen miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar üretilen oksijen miktarının, belirli bir ağaç yükseklik eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve uzun boylu ağaçların üretilen oksijen miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.155).

Çizelge 4.155. Zeytin Park'ta ağaç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Ağaç yüks. (m) grup	(J) Ağaç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-43,82433*	5,31021	,000	-56,3358	-31,3129
		3	-43,91250*	10,3717	,000	-68,3493	-19,4757
	2	1	43,82433*	5,31021	,000	31,3129	56,3358
		3	-,08817	9,63023	1,000	-22,7781	22,6017
LSD	1	2	-43,82433*	5,31021	,000	-54,2769	-33,3718
		3	-43,91250*	10,3717	,000	-64,3279	-23,4971
	2	1	43,82433*	5,31021	,000	33,3718	54,2769
		3	-,08817	9,63023	,993	-19,0441	18,8678
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.9.3. Taç yüksekliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç düşük taçlı (1.grup), orta taçlı (2. Grup) ve yüksek taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç yükseklik grubuna ayrılmıştır ve bu grupların oksijen üretim miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.156'da verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam oksijen üretim miktarlarının ortalaması 72,6 kg olup, standart sapma değeri 41,3'tür. Gruplar itibariyle düşük taçlı ağaçların ortalama oksijen üretim miktarı 47,3 kg, orta taçlı ağaçların 85,5 kg ve yüksek taçlı ağaçların 90,6 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 40,6 ila 53,9 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 79,1 ila 92 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 79,6 ila 101,7 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Taç yüksekliği arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.156. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç yüks. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	102	47,2451	33,76764	3,34349	40,6125	53,8777	6,10	150,10
2	145	85,5441	39,36911	3,26943	79,0819	92,0064	7,30	152,10
3	39	90,6308	34,10654	5,46142	79,5747	101,6868	10,60	144,40
Total	286	72,5787	41,25682	2,43957	67,7768	77,3805	6,10	152,10

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç yükseklik grupları

arasında üretilen oksijen miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 37,9 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.157).

Çizelge 4.157. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	102.546,807	2	51.273,403	37,930	,000
Gruplar içi	382.558,813	283	1.351,798		
Total	485.105,620	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında üretilen oksijen miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar üretilen oksijen miktarının, belirli bir taç yükseklik eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve yüksek taçlı ağaçlar tarafından üretilen oksijen miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.158).

Çizelge 4.158. Zeytin Park'ta taç yüksekliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç yüks. (m) grup	(J) Taç yüks. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-38,29904*	4,75139	,000	-49,4938	-27,1042
		3	-43,38567*	6,92202	,000	-59,6947	-27,0766
	2	1	38,29904*	4,75139	,000	27,1042	49,4938
		3	-5,08663	6,63206	,724	-20,7125	10,5392
LSD	1	2	-38,29904*	4,75139	,000	-47,6516	-28,9465
		3	-43,38567*	6,92202	,000	-57,0109	-29,7605
	2	1	38,29904*	4,75139	,000	28,9465	47,6516
		3	-5,08663	6,63206	,444	-18,1411	7,9678
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.9.4. Taç genişliği grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç dar taçlı (1.grup), normal taçlı (2. Grup) ve geniş taçlı (3.grup) olmak üzere üç taç genişliği grubuna ayrılmıştır ve bu grupların oksijen üretim miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.159'da verilmiştir.

Buna göre tüm ağaçların toplam oksijen üretim miktarlarının ortalaması 72,6 kg olup, standart sapma değeri 41,3'tür. Gruplar itibariyle dar taçlı ağaçların ortalama oksijen üretim miktarı 40,4 kg, normal taçlı ağaçların 77,7 kg ve geniş taçlı ağaçların 98,9 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 30,8 ila 49,9 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 72,5 ila 82,9 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 78,7 ila 119,2 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç genişliği arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.159. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç geniş. (m) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	49	40,3551	33,36835	4,76691	30,7706	49,9396	6,10	150,80
2	220	77,7173	39,30363	2,64985	72,4948	82,9397	9,60	152,10
3	17	98,9588	39,39792	9,55540	78,7023	119,2154	7,30	148,90
Total	286	72,5787	41,25682	2,43957	67,7768	77,3805	6,10	152,10

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç genişlik grupları arasında üretilen oksijen miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 23,3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.160).

Çizelge 4.160. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Önem düzeyi
Gruplar arası	68.519,223	2	34.259,612	23,274	,000
Gruplar içi	416.586,397	283	1.472,037		
Total	485.105,620	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında üretilen oksijen miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar üretilen oksijen miktarının, belirli bir taç genişliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında normal ve geniş taçlı ağaçlar tarafından üretilen oksijen miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.161).

Çizelge 4.161. Zeytin Park'ta taç genişliği gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç geniş. (m) grup	(J) Taç geniş. (m) grup	Ortalama fark (I-J)	Std. hata	Önem düzeyi	% 95 Güven aralığı	
						Alt sınır	Üst sınır
Tukey HSD	1	2	-37,36217*	6,06075	,000	-51,6420	-23,0824
		3	-58,60372*	10,79963	,000	-84,0489	-33,1586
	2	1	37,36217*	6,06075	,000	23,0824	51,6420
		3	-21,24155	9,65823	,073	-43,9974	1,5143
LSD	1	2	-37,36217*	6,06075	,000	-49,2920	-25,4323
		3	-58,60372*	10,79963	,000	-79,8615	-37,3459
	2	1	37,36217*	6,06075	,000	25,4323	49,2920
		3	-21,24155*	9,65823	,029	-40,2526	-2,2305
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

4.2.9.5. Taç örtü alanı grupları itibariyle ağaçların ürettiği oksijen miktarının incelenmesi

Zeytin Park'ta incelenen 286 adet ağaç küçük (1.grup), orta (2. Grup) ve büyük (3.grup) olmak üzere üç taç örtü alanı grubuna ayrılmıştır ve bu grupların oksijen üretim miktarlarının ortalama değerleri Çizelge 4.162'de verilmiştir. Buna göre tüm ağaçların toplam oksijen üretim miktarlarının ortalaması 72,6 kg olup, standart sapma değeri 41,3'tür. Gruplar itibariyle küçük ağaçların ortalama oksijen üretim miktarı 52,3 kg, orta ağaçların 79,9 kg ve büyük ağaçların 98,9 kg'dır. Üretilen oksijen miktarları % 95 olasılıkla birinci gruptaki ağaçlar için 44,7 ila 59,9 kg arasında, ikinci gruptaki ağaçlar için 74,1 ila 85,8 kg arasında ve üçüncü gruptaki ağaçlar için ise 78,7 ila 119,2 kg arasında olduğu belirlenmiştir. Ağaç taç örtü alanı arttıkça üretilen oksijen miktarı artmıştır.

Çizelge 4.162. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre ağaç başına üretilen oksijen değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Taç örtü alanı (m^2) grup	Ağaç sayısı (adet)	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama için % 95 güven aralığı		Min.	Max.
					Alt sınır (kg)	Üst sınır (kg)		
1	88	52,3273	36,00535	3,83818	44,6985	59,9561	6,10	150,80
2	181	79,9470	40,12046	2,98213	74,0625	85,8314	9,60	152,10
3	17	98,9588	39,39792	9,55540	78,7023	119,2154	7,30	148,90
Total	286	72,5787	41,25682	2,43957	67,7768	77,3805	6,10	152,10

Yapılan tek yönlü varyans analizi sonucu, Zeytin Park'ta taç örtü alanı grupları arasında üretilen oksijen miktarı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) ve F değeri 19,1 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.163).

Çizelge 4.163. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı	**Serbestlik derecesi**	**Kareler ortalaması**	**F**	**Önem düzeyi**
Gruplar arası	57.747,793	2	28.873,897	19,121	,000
Gruplar içi	427.357,827	283	1.510,098		
Total	485.105,620	285			

ANOVA sonrası yapılan Post Hoc analizinde LSD ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında üretilen oksijen miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar üretilen oksijen miktarının, belirli bir taç örtü alanı eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve büyük ağaçlar tarafından üretilen oksijen miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.164).

Çizelge 4.164. Zeytin Park'ta taç örtü alanı gruplarına göre üretilen oksijen değerlerinin çoklu karşılaştırma (Tukey HSD ve LSD) test sonuçları

	(I) Taç örtü alanı (m^2) grup	**(J) Taç örtü alanı (m^2) grup**	**Ortalama fark(I-J)**	**Std. hata**	**Önem düzeyi**	**% 95 Güven aralığı**	
						Alt sınır	**Üst sınır**
Tukey HSD	1	2	-27,61969*	5,05008	,000	-39,5182	-15,7211
		3	-46,63155*	10,2951	,000	-70,8880	-22,3751
	2	1	27,61969*	5,05008	,000	15,7211	39,5182
		3	-19,01186	9,85761	,133	-42,2375	4,2138
LSD	1	2	-27,61969*	5,05008	,000	-37,5602	-17,6792
		3	-46,63155*	10,2951	,000	-66,8963	-26,3668
	2	1	27,61969*	5,05008	,000	17,6792	37,5602
		3	-19,01186	9,85761	,055	-38,4154	,3917
*. Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.							

Bağımsız değişkenlerin (gövde çapı, taç örtü alanı, taç yüksekliği, ağaç yüksekliği) Zeytin Park tarafından sağlanan ekosistem hizmetleri (bağımlı değişkenler) üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan regresyon modelleri, yapılan analiz ve test sonuçlarının özet tablosu Çizelge 4.165'te verilmiştir.

Çizelge 4.165. Zeytin Park'ta bağımlı değişkenler üzerinde etkili bağımsız değişkenler, kullanılan regresyon modelleri ile istatistiksel analiz ve test sonuçları özet tablosu

Bağımlı değişken	Kullanılan fonksiyon modeli	Bağımsız değişken	ANOVA sonucu	Tukey HSD ve LSD sonucu
Depolanan karbon	Logaritmik fonksiyon modeli	gövde çapı* ve taç yüksekliği	gövde çapı grupları arasında depolanan karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Taç yüksekliği grupları arasında depolanan karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Gövde çapı arttıkça depolanan karbon miktarı anlamlı şekilde artmıştır. Test sonuçlarına göre 2. ile 3. taç yüksekliği grupları arasında depolanan karbon miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Depolanan karbon miktarının belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve yüksek taçlı ağaçların ürettiği oksijen miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir.
Tutulan net karbon	Logaritmik fonksiyon modeli	gövde çapı* ve taç yüksekliği	gövde çapı grupları arasında tutulan net karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Taç yüksekliği grupları arasında tutulan net karbon miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Gövde çapı arttıkça tutulan karbon miktarı anlamlı şekilde artmıştır. Test sonuçlarına göre 2. ile 3. taç yüksekliği grupları arasında tutlan karbon miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Tutulan karbon miktarının belirli bir taç yüksekliği eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve yüksek taçlı ağaçların tuttuğu karbon miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir.
Önlenen yüzey akışı	Önlenen yüzey akış miktarı için doğrusal ve logaritmik regresyon modelleri karşılaştırılmış, Logaritmik fonksiyonda katsayılar negatif, doğrusal fonksiyon modelinde katsayılar pozitif olmasına rağmen düzeltilmiş R^2 değerleri (0,402-0,502 arasında) düşük bulunduğundan her iki modelinde önlenen yüzey akışını açıklamada yetersiz olduğu belirlenmiştir. . Bunun nedeni önlenen yüzey akışında kullanılan bağımsız değişkenlerin yanında, yağış miktarı, rüzgar, mevsimsellik gibi çevresel faktörlerinde etkili olmasıdır. Bu bağlamda Bu diğer bağımlı değişkenlere uygulanan analizler önlenen yüzey akışı değişkeni için uygulanamamıştır.			

(Devamı Arkada)

Kirlilik giderimi	Logaritmik fonksiyon modeli	Taç örtü alanı* ağaç yüksekliği, gövde çapı	Taç örtü alanı grupları arasında giderilen kirlilik miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Ağaç yüksekliği grupları arasında giderilen kirlilik miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Gövde çapı grupları arasında giderilen kirlilik miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Taç örtü alanı artışına bağlı olarak giderilen kirlilik değeri anlamlı şekilde artmıştır. Aynı şekilde ağaç boyu arttıkça giderilen kirlilik miktarının anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Yine gövde çapı artışına bağlı olarak giderilen kirlilik miktarı artmıştır.
Oksijen üretimi	Logaritmik fonksiyon modeli	gövde çapı* ve ağaç yüksekliği	Gövde çapı grupları arasında üretilen oksijen miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$) Ağaç yüksekliği grupları arasında üretilen oksijen miktarları bakımından fark anlamlı ($p<0,05$)	Gövde çapı artışına bağlı olarak üretilen oksijen miktarı anlamlı şekilde artmıştır. Test sonuçlarına göre, 2. ile 3. gruplar arasında üretilen oksijen miktarları bakımından istatistiksel olarak fark yokken ($p>0,05$) 1.grup ile diğer iki grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Sonuçlar üretilen oksijen miktarının, belirli bir ağaç yükseklik eşiğine kadar belirgin şekilde arttığını, ancak bu eşik aşıldığında orta ve uzun boylu ağaçların üretilen oksijen miktarları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir.

4.3. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı Karşılaştırması

4.3.1. Karbon depolama bakımından karşılaştırma

Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'ndaki örnek ağaçla karbon depolama miktarı bakımından karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.166).

Çizelge 4.166. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait karbon depolama değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Alan	N	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Ortalamanın standart hatası
Karbon depolama	**ZEYTİN PARK**	286	392,3273	450,04433	26,61168
	KEPEZ KENT ORMANI	452	405,1031	358,98622	16,88529

Zeytin Park'ta 286 adet örnek ağacın ortalama karbon depolama miktarı 392 kg, Kepez Kent Ormanı'nda 452 adet örnek ağacın ortalama karbon depolama miktarı ise 405 kg olup Zeytin Park'tan daha fazla bulunmuştur (Çizelge 4.166).

Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon depolama değerleri bağımsız örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır. Levene testi sonucuna göre varyanslar eşit kabul edilmiştir (p=0,089). T-test sonucuna göre ise iki alanın ortalama karbon depolama miktarları arasındaki ortalama fark -12,78 olup, Kepez Kent Ormanı değeri biraz daha yüksektir ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (p=0,670>0,05). Bu bulgu, iki çalışma alanının ağaç başına karbon depolama kapasitelerinin benzer olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 4.167).

Çizelge 4.167. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon depolama değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

	Levene's varyans eşitliği testi		Ortalamaların eşitliği için t-testi				
	F	Önem düzeyi	t	df	Önem düzeyi (2-tailed)	Ortalama fark	Std.hata farkı
Varyansların eşit olduğu varsayılmıştır	2,894	,089	-,426	736	,670	-12,77582	29,97610
Varyansların eşit olmadığı varsayılmıştır			-,405	508,583	,685	-12,77582	31,51658

4.3.2. Karbon tutma bakımından karşılaştırma

Zeytin Park'ta 286 adet örnek ağacın ortalama karbon tutulum miktarı 27,22 kg, Kepez Kent Ormanı'nda 452 adet örnek ağacın ortalama karbon tutulum miktarı ise 20,89 kg olup Zeytin Park'ın karbon tutma değeri daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.168).

Çizelge 4.168. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait karbon tutma değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Alan	N	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Ortalamanın standart hatası
Karbon tutma	**ZEYTİN PARK**	286	27,2189	15,47238	,91490
	KEPEZ KENT ORMANI	452	20,8945	11,59794	,54552

Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon tutma değerleri bağımsız örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.169).

Levene testi sonucuna göre varyansların eşit olmadığı belirlenmiş (p<0,05) ve analiz eşit varyans varsayımı sağlanmadan gerçekleştirilmiştir. T-test sonucuna göre ise iki alanın ortalama karbon depolama miktarları arasında anlamlı fark (p<0,005) bulunmuştur. Zeytin Park'ın karbon tutma değeri (27,22), Kepez Kent Ormanı'na (20,89) göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.169).

Çizelge 4.169. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon tutma değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

	Levene's varyans eşitliği testi		**Ortalamaların eşitliği için t-testi**				
	F	**Önem düzeyi**	**t**	**df**	**Önem düzeyi (2-tailed)**	**Ortalama fark**	**Std. hata farkı**
Varyansların eşit olduğu varsayılmıştır	48,189	,000	6,325	736	,000	6,32441	,99989
Varyansların eşit olmadığı varsayılmıştır			5,937	484,940	,000	6,32441	1,06519

4.3.3. Önlenen yüzey akışı bakımından karşılaştırma

Zeytin Park'ta 286 adet örnek ağacın ortalama önlediği yüzey akış miktarı 0,011 m^3, Kepez Kent Ormanı'nda 452 adet örnek ağacın ortalama önlediği yüzey akış miktarı ise 0,034 m^3 olup Kepez Kent Ormanı'nın önlediği yüzey akış miktarı daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.170).

Çizelge 4.170. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın önlediği yüzey akışı değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Alan	**N**	**Ortalama (m^3)**	**Std. Sapma**	**Ortalamanın standart hatası**
Önlenen yüzey akışı	**ZEYTİN PARK**	286	,0105	,03182	,00188
	KEPEZ KENT ORMANI	452	,0336	,05346	,00251

Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın önlenen yüzey akışı değerleri bağımsız örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır. Levene testi sonucuna göre varyansların eşit olmadığı belirlenmiş (p<0,05) ve analiz eşit varyans varsayımı sağlanmadan gerçekleştirilmiştir. T-test sonucuna göre ise iki alanın ortalama önlenen yüzey akışı miktarları arasında anlamlı fark (p<0,005) bulunmuştur. Kepez Kent Ormanı'nın önlediği yüzey akışı (0,0336), Zeytin Park'a (0,0105) göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.171).

Çizelge 4.171. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın önlediği yüzey akışı değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

	Levene's varyans eşitliği testi		Ortalamaların eşitliği için t-testi				
	F	Önem düzeyi	t	df	Önem düzeyi (2-tailed)	Ortalama fark	Std. hata farkı
Varyansların eşit olduğu varsayılmıştır	200,03	,000	-6,615	736	,000	-,02314	,00350
Varyansların eşit olmadığı varsayılmıştır			-7,368	733,524	,000	-,02314	,00314

4.3.4. Kirlilik giderimi bakımından karşılaştırma

Zeytin Park'ta 286 adet örnek ağacın ortalama kirlilik giderimi miktarı 119,1 g, Kepez Kent Ormanı'nda 452 adet örnek ağacın ortalama kirlilik giderimi miktarı ise 315,6 g olup Kepez Kent Ormanı'nın kirlilik giderimi miktarı daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.172).

Çizelge 4.172. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait kirlilik giderimi değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Alan	N	Ortalama (g)	Std. Sapma	Ortalamanın standart hatası
Kirlilik giderimi	**ZEYTİN PARK**	286	119,0671	122,34989	7,23470
	KEPEZ KENT ORMANI	452	315,5936	281,38287	13,23514

Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın kirlilik giderimi değerleri bağımsız örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.173).

Çizelge 4.173. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın kirlilik giderimi değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

	Levene's varyans eşitliği testi		Ortalamaların eşitliği için t-testi				
	F	Önem düzeyi	t	df	Önem düzeyi (2-tailed)	Ortalama fark	Std. hata farkı
Varyansların eşit olduğu varsayılmıştır	68,32	,000	-11,16	736	,000	-196,5265	17,60882
Varyansların eşit olmadığı varsayılmıştır			-13,03	666,604	,000	-196,5265	15,08343

Levene testi sonucuna göre varyansların eşit olmadığı belirlenmiş ($p<0,05$) ve analiz eşit varyans varsayımı sağlanmadan gerçekleştirilmiştir. T-test sonucuna göre ise iki alanın ortalama kirlilik giderimi miktarları arasında anlamlı fark ($p<0,005$) bulunmuştur. Kepez Kent Ormanı'nın kirlilik giderim değeri (315,59), Zeytin Park'a (119,07) göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.173).

4.3.5. Oksijen üretimi bakımından karşılaştırma

Zeytin Park'ta 286 adet örnek ağacın ortalama oksijen üretim miktarı 72,58 kg, Kepez Kent Ormanı'nda 452 adet örnek ağacın ortalama oksijen üretim miktarı ise 55,72 kg olup Zeytin Park'ın oksijen üretim miktarı daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.174).

Çizelge 4.174. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'na ait oksijen üretim değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Alan	N	Ortalama (kg)	Std. Sapma	Ortalamanın standart hatası
Oksijen üretimi	**ZEYTİN PARK**	286	72,5787	41,25682	2,43957
	KEPEZ KENT ORMANI	452	55,7199	30,93075	1,45486

Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın oksijen üretimi değerleri bağımsız örneklem t-testi ile karşılaştırılmıştır. Levene testi sonucuna göre varyansların eşit olmadığı belirlenmiş ($p<0,05$) ve analiz eşit varyans varsayımı sağlanmadan gerçekleştirilmiştir. T-test sonucuna göre ise iki alanın ortalama oksijen üretim miktarları arasında anlamlı fark ($p<0,005$) bulunmuştur. Zeytin Park'ın oksijen üretim miktarı (72,58 kg), Kepez Kent Ormanı'na (55,72 kg) göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.175).

Çizelge 4.175. Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın oksijen üretim değerlerine ilişkin bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

	Levenes varyans eşitliği testi		Ortalamaların eşitliği için t-testi				
	F	Önem düzeyi	t	df	Önem düzeyi (2-tailed)	Ortalama fark	Std. hata farkı
Varyansların eşit olduğu varsayılmıştır	48,034	,000	6,323	736	,000	16,8588	2,6664
Varyansların eşit olmadığı varsayılmıştır			5,935	485,000	,000	16,8588	2,8404

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada Antalya kentinde yer alan yeşil alanlardan Zeytin Park ve Kepez Kent Ormanı'nın karbon tutma ve depolama, kirlilik giderimi, oksijen üretimi ve yüzey akışını önleme ekosistem hizmetlerinin ekonomik değeri saptanmıştır. Elde edilen bulgular iki alanın ekosistem hizmetleri açısından farklı performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Karbon depolama açısından Kepez Kent Ormanı değeri daha yüksek bulunmuş olsa da iki alan arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bu sonuç her iki alanın uzun dönemli karbon stok kapasitesinin benzer seviyelerde olduğunu göstermektedir. Buna karşılık karbon tutma değerlerinde Zeytin Park'ın, Kepez Kent Ormanı'na göre anlamlı derecede daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç literatürdeki çalışmalarda da (Wang vd. 2023; Kim vd. 2024) görülmüştür. Bazı iğne yapraklıların tür bazında en yüksek karbon tutulumunu sağlasa da geniş yapraklı ağaçların genel karbon tutma değerlerinin daha yüksek olabileceği gözlemlenmiştir (Kim vd. 2024). İğne yapraklı türlerin genellikle daha yüksek biyokütle ve karbon depolama sağladığı, özellikle orman ekosisteminde daha fazla karbon depolandığı ifade edilmektedir (Wang vd. 2023). Bu durumda dikim alanı oranının, ağaç sayısının ve türünün, gövde çapının, biyokütlenin, ağaç yaşının, hacmi ve boyutuna bağlı yapısal farklılıkların önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Hesaplamaların yapıldığı i-Tree Eco programı karbon tutma ve depolama miktarını hesaplarken kullandığı allometrik büyüme formüllerinin yanında taç özellikleri ve ışık rekabeti gibi faktörleri de dikkate almaktadır. Buna bağlı olarak Zeytin Park'ta ağaçların 10 m aralıklarla dikilmiş olması ışık rekabetini ortadan kaldırmakta, bu durum da fotosentezi artırarak buna bağlı karbon tutulumunu artırmaktadır.

Oksijen üretimi karbon tutulumu ile bire bir bağlantılıdır. Eğer fotosentez sırasında alınan karbondioksit miktarı, yıl boyunca solunum yoluyla salınan karbondioksit miktarını aşarsa ağaç karbon biriktirir (karbon tulumu). Dolayısıyla bir yıl boyunca net karbon tutulumu (ağaç büyümesi) olan bir ağaç aynı zamanda net oksijen üretimi de yapar (Nowak vd. 2007). Bu nedenle Zeytin Park'ın karbon tutulumunun daha yüksek olması sonucu oksijen üretiminin de yüksek olması beklenen bir durumdur.

Kirlilik giderimi açısından Kepez Kent Ormanı'nın Zeytin Park'a göre çok daha yüksek değerlere sahip olduğu ve farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçların taç yaprak alanlarının Zeytin Park'takilerden yüksek olmasından kaynaklıdır. Bu sonuç literatürde yapılan çalışmalarla uyumludur. Yapılan bazı çalışmalarda kirletici tutumunun ağaç boyutu (Andrew ve Slater 2014), bitkinin yaprak alanı (Morani vd. 2014; Lin vd. 2020) daha yüksek birikim hızı, geniş taç alanı veya yoğun yaprak örtüsü (Cui ve Adams 2025), ağaç yüksekliği (Wu vd. 2019) ile bağlantılı olduğu sonucu elde edilmiştir. Bunun yanında vejetasyon tipi açısından 100-300 m aralığındaki geniş yapraklıların, kirlilik tutma verimliliğinin yüksek olması da (Wu vd. 2019) çalışma bulgularını desteklemektedir.

Yüzey akışı önleme bakımından incelendiğinde Kepez Kent Ormanı'nın Zeytin Park'a göre anlamlı derecede daha yüksek değerler ürettiği görülmüştür. Bu bulgu literatürdeki sonuçlarla örtüşmektedir. İğne yapraklı ağaçlar, geniş yapraklı ağaçlara

kıyasla daha yüksek tutma ve terleme oranı nedeniyle daha düşük toprak suyu içeriğine sahip olma eğilimindedir; bu da yüzey akışının başlama zamanını geciktirir ve su tutma kapasitesini artırır. Bunun yanında geniş yapraklı ağaçlar daha iyi toprak infiltrasyonu sağlamaktadırlar (Rahman vd. 2023). Ayrıca geniş yapraklı ve ibreli yapraklı meşcereler ortalama yıllık engellenen yağış miktarı bakımından karşılaştırıldığında kayın meşceresinde çıplak alandakinin %17,4'ü, meşe meşceresinde %20'si ve çam meşceresinde %31,1'i olduğu ortaya koyulmuş olup ibrelilerin toplam engellemesi geniş yapraklılardan daha yüksek, geniş yapraklıların yaz döneminde kış dönemine göre engelleme oranları daha yüksek, ibrelilerde ise tam tersi olduğu belirlenmiştir (Çepel 1969 ; Sevgi vd. 2024)

Genel olarak bulgular birlikte değerlendirildiğinde, iki alanın ekosistem hizmetleri açısından farklı fonksiyonel güçlü yönlere sahip olduğu görülmektedir. Zeytin Park özellikle karbon tutma ve oksijen üretimi gibi fotosentetik süreçlere dayalı hizmetlerde öne çıkarken, Kepez Kent Ormanı kirlilik giderimi ve su döngüsünün düzenlenmesi gibi ekosistem hizmetlerinde daha yüksek performans göstermektedir. Bu durum, kentsel yeşil alanların ekosistem hizmetlerinin tek bir göstergede değil, çok boyutlu olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Araştırma alanlarının sağladığı ekosistem hizmetlerinin parasal değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Her iki çalışma alanlarının ekosistem hizmeti bakımından sağladığı ekonomik faydalara bakıldığında, Kepez Kent Ormanı'nda yıllık enerji tasarrufu 40 MWH olup faydası 190.040 TL (4.406 $), karbon tutulumu 446 ton olup faydası 503.143 TL (11.666 $), giderilen kirlilik 6,6 ton olup faydası 21.300.000 TL (493.856 $) ve önlenen yüzey akışı 877 m^3 olup faydası ise 36.000 TL (835 $)'dir. Toplam yıllık fayda 22 milyon (510.086 $) üzerindeyken, toplam yıllık maliyetler 68.650 TL (1.592 $) olup, net yıllık fayda 21.960.533 TL (509.171 $)'dir. Kepez Kent Ormanı'nın yıllık olarak ağaç başına sağladığı net fayda ise 1.005,1 TL (23,3 $), kişi başına ise 35,76 TL (0,8 $)'dir. Fayda maliyet oranı ise 320,9 olarak bulunmuştur.

Zeytin Park'ın karbon tutulumu 310 ton olup faydası 343.480 TL (7.964 $), giderilen kirlilik 1,36 ton olup faydası, 3.928.914 TL (91.095 $) ve önlenen yüzey akışı 255 m^3 olup faydası ise 10.491 TL (243 $)'dir. Toplam yıllık fayda 4,2 milyon TL (97.380 $) üzerindeyken, toplam yıllık maliyetler 62.144 TL (1.441 $) olup, net yıllık fayda 4.220.741 TL (97.861 $)'dir. Zeytin Park'ın yıllık olarak ağaç başına sağladığı net fayda ise 381,97 TL (8,9 $), kişi başına ise 6,87 TL (0,2 $)'dir. Fayda maliyet oranı ise 68,9 olarak bulunmuştur.

Alan büyüklüğü ve tür kompozisyonu dikkate alındığında, Kepez Kent Ormanı'nda geniş alan kaplayan kızılçam ve fıstıkçamı türlerinin sağladığı toplam net faydanın 21 milyon TL (486.900 $)'yi aşması, iğne yapraklı türlerin karbon tutulumu ve kirlilik giderimi bakımından yüksek katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık Zeytin Park'taki zeytin ağaçlarının sağladığı yaklaşık 4 milyon TL (92.743 $)'lik net fayda, bu türün de önemli bir ekosistem hizmeti sunduğunu ancak toplam katkının daha sınırlı kaldığını göstermektedir.

Çizelge 5.1. Çalışma alanlarının, sağladığı ekosistem hizmeti faydaları bakımından karşılaştırılması

Faydalar	Kepez Kent Ormanı				Zeytin Park			
	Toplam (TL)	Toplam ($)	TL/Ağaç	TL/Kişi	Toplam (TL)	Toplam ($)	TL/Ağaç	TL/Kişi
Enerji	190.040	4.406	8,70	0,30	-		-	-
Karbon tutulumu	503.143	11.666	23,00	0,80	343.480	7.964	31,10	0,60
Giderilen kirlilik	21.300.000	493.856	974,80	34,70	3.928.914	91.095	355,42	6,40
Önlenen yüzey akışı	36.000	835	1,70	0,06	10.491	243	0,95	0,02
Toplam yıllık fayda	22.029.183	510.762	1.008,20	35,86	4.282.885	99.302	387,59	6,97
Toplam yıllık maliyetler	68.650	1.592	3,10	0,12	62.144	1.441	5,62	0,10
Net yıllık fayda	21.960.533	509.171	1.005,10	35,76	4.220.741	97.861	381,97	6,87
Fayda maliyet oranı	320,9				68,9			

15 Mart 2026 tarihli döviz kuru (1 $=43,13 TL) baz alınmıştır.

Ağaç başına Kepez Kent Ormanı'nda karbon depolama 0,4 ton, karbon tutulumu 0,02 ton, oksijen üretimi 55 kg, önlenen yüzey akışı 0,04 m^3 ve giderilen kirlilik miktarı 0,3 kg bulunmuştur. Zeytin Park'ta ise ağaç başına karbon depolama 0,4 ton, karbon tutulumu 0,03 ton, oksijen üretimi 70 kg, önlenen yüzey akışı 0,02 m^3 ve giderilen kirlilik miktarı 0,1 kg bulunmuştur. Türkiye'de yapılan çalışmalardan Selim ve Atabey (2020) Antalya'da cadde ağaçları üzerinde yaptığı çalışmalarında ağaç başına depolanan karbon miktarını 0,1 ton, oksijen üretimini 4,4 kg ve önlenen yüzey akış miktarını ise 0,3 m^3 bulmuşlardır. Kaçmaz ve Akkurt (2022) Burdur da cadde ağaçları üzerinde yaptığı çalışmalarında ağaç başına tutulan karbon miktarını 0,02 ton, oksijen üretimini 60 kg, önlenen yüzey akış miktarını 0,09 m^3 ve giderilen kirlilik miktarını ise 0,1 kg bulmuşlardır.

Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park için ağaç başına karbon tutma, oksijen üretme, önlenen yüzey akışı ve giderilen kirlilik miktarı, Kaçmaz Akkurt (2022)'un Burdur ilinde 32 farklı türdeki cadde ağaçları üzerine yaptığı çalışması ile örtüşmektedir. Selim ve Atabey (2020)'in Antalya'da 9 farklı türdeki cadde ağaçları

üzerine yaptığı çalışmasında ağaç başına karbon depolama miktarı bu çalışma ile örtüşürken, önlenen yüzey akışının bu çalışmadaki değerlerden yaklaşık 10 kat yüksek, oksijen üretiminin ise yaklaşık 10 kat düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 5.2). Önlenen yüzey akışı değerlerinin yağış miktarı, geçirimsiz yüzey oranı ve taç örtüsü büyüklüğünden önemli ölçüde etkilenmesinin farklılık nedenleri olduğu düşünülmektedir. Oksijen üretimi değerlerindeki farklılıkların ise ağaçların büyüklüğü, biyokütleleri, yıllık büyüme oranı ve tür kompozisyonundaki değişimlerle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Karbon depolama değerlerinin çalışmalar arasında benzerlik göstermesi, ağaçların gövde çapı ve biyokütle özelliklerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanmış olabilir. Buna karşılık oksijen üretimi ve önlenen yüzey akışı gibi ekosistem hizmetleri; yaprak alanı, taç hacmi, büyüme hızı, yağış miktarı, geçirimsiz yüzey oranı ve meteorolojik koşullar gibi çevresel ve morfolojik değişkenlerden daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle çalışma alanları arasında söz konusu ekosistem hizmetlerinde belirgin farklılıkların ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında, çalışma alanlarının tür kompozisyonu, ağaçların yaş sınıfları, dikim aralıkları ve bakım uygulamalarındaki farklılıkların da ekosistem hizmetlerinin büyüklüğünü etkileyebileceği değerlendirilmektedir. Özellikle karbon depolama gibi biyokütleye dayalı ekosistem hizmetleri daha çok ağacın yapısal özelliklerini yansıtırken, oksijen üretimi, yağmur suyu tutulumu ve hava kirliliğinin giderilmesi gibi yıllık ekosistem hizmetleri çevresel koşullardaki değişimlere daha duyarlı olduğundan, aynı büyüklükteki ağaçlarda dahi farklı sonuçların elde edilmesi beklenebilmektedir. Bu durum, kent ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesinde yalnızca ağaç boyutlarının değil, çalışma alanının ekolojik ve meteorolojik özelliklerinin de birlikte dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 5.2. Ağaç başına hesaplanan ekosistem hizmetlerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

EKOSİSTEM HİZMETLERİ	ÇALIŞMALAR			
	Kepez Kent Ormanı	Zeytin Park	Selim ve Atabey (2020)	Kaçmaz ve Akkurt (2022)
Karbon depolama	0,4 ton	0,4 ton	0,1 ton	-
Karbon tutma	0,02 ton	0,03 ton	-	0,02 ton
Oksijen üretimi	55 kg	70 kg	4,4 kg	60 kg
Önlenen yüzey akışı	0,04 m^3	0,02 m^3	0,3 m^3	0,09 m^3
Giderilen kirlilik	0,3 kg	0,1 kg	-	0,1 kg

Hektar başına Kepez Kent Ormanı'nda depolanan karbon 102,4 ton, depolanan CO_2 miktarı 375,4 ton, tutulan net karbon 5,2 ton, tutulan CO_2 miktarı 19,15 ton, oksijen üretimi 13.930 kg, önlenen yüzey akışı 10,3 m^3 ve giderilen kirlilik miktarı 77 kg bulunmuştur. Zeytin Park'ta ise hektar başına depolanan karbon 127,55 ton, depolanan CO_2 467,7 ton, tutulan karbon 9 ton, tutulan CO_2 32 ton, oksijen üretimi 23.255 kg, önlenen yüzey akışı 7,4 m^3 ve giderilen kirlilik miktarı 39,5 kg bulunmuştur. Türkiye'de yapılan çalışmalardan Hepcan ve Hepcan (2017) Ege Üniversitesi yerleşkesinde yaptığı çalışmada hektar başına yakalanan CO_2 miktarını, 1.218 ton, depolanan CO_2 miktarını 307 ton olarak bulmuşlardır. Tonyaloğlu (2023) Aydın Adnan Menderes Üniversitesi merkez kampüsünde yaptığı çalışmada hektar başına yakalanan karbon miktarını 51 ton,

depolanan karbon miktarını 1.292 ton ve kirletici miktarını ise 1.134,6 kg olarak hesaplamıştır. Üstün Topal ve Demirel (2023) İstanbul Üsküdar'da bir mahallede yaptıkları çalışmada hektar başına tutulan CO_2 miktarını 12,4 ton, depolanan CO_2 miktarını 311,5 ton, giderilen kirlilik miktarını ise 21 kg olarak hesaplamışlardır. Kurt Konaklıoğlu (2025) Amasya'da bir parkta yaptığı çalışmada hektar başına tutulan CO_2 miktarını 75,5 ton ve tutulan karbon miktarını 3 ton olarak hesaplamışlardır.

Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park için hektar başına depolanan karbon dioksit miktarı yukarıda bahsedilen çalışmalar ile örtüşmektedir. Bu çalışmalar arasından Tonyaloğlu (2023)'ün Aydın Üniversitesi Kampüsü'nde yaptığı çalışmasındaki yakalanan ve depolanan karbon miktarının bu çalışmadaki değerlerden 10 kat, tutulan kirletici miktarının ise yaklaşık 20 kat fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 5.3). Karbon depolama büyük ölçüde biyokütle ve ağaç yoğunluğuna bağlıdır. Kirletici tutumu ise sadece ağaç büyüklüğüyle değil yaprak yüzeyi, tür özellikleri, kirletici konsantrasyonu, trafik yoğunluğu, meteorolojik durum gibi faktörlerden de yüksek oranda etkilenmektedir. Bu nedenle yakalanan ve depolanan karbon miktarı ile tutulan kirletici miktarında görülen farklılıkların; hektar başına düşen ağaç sayısı, ağaçların biyokütle ve taç hacimleri, yaprak alanı miktarı, çalışma alanlarının trafik ve kirletici yükü ile yerel iklim koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Bunun yanında, hektar bazında yapılan karşılaştırmalarda ağaçların yalnızca bireysel büyüklükleri değil, meşcere yapısı ve alandaki ağaçların mekânsal dağılımı da sonuçları önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Aynı hektar alan içerisinde daha fazla sayıda ve daha homojen dağılım gösteren ağaçların bulunması, toplam yaprak yüzeyi ve biyokütleyi artırarak karbon depolama ve kirletici giderimi gibi ekosistem hizmetlerinin hektar bazında yükselmesine katkı sağlayabilmektedir. Bu nedenle farklı çalışma alanlarından elde edilen hektar başına ekosistem hizmeti değerlerinin karşılaştırılmasında yalnızca tür kompozisyonunun değil, ağaç yoğunluğu ve meşcere yapısının da dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.3. Hektar başına hesaplanan ekosistem hizmetlerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

EKOSİSTEM HİZMETLERİ	ÇALIŞMALAR					
	Kepez Kent Ormanı	Zeytin Park	Hepcan ve Hepcan (2017)	Tonyaloğlu (2023)	Üstün Topal ve Demirel (2023)	Kurt Konaklıoğlu (2025)
Karbon depolama	102,4 ton	127,6 ton	-	1.292 ton	-	-
Karbondioksit depolama	375,4 ton	467,7 ton	307 ton	-	311,5 ton	-
Karbon tutma	5,2 ton	9 ton	-	51 ton	-	3 ton
Karbondioksit tutma	19,15 ton	32 ton	1.218 ton	-	12,4 ton	75,5 ton
Oksijen üretimi	13.930 kg	23.255 kg	-	-	-	-
Önlenen yüzey akışı	10,3 m^3	7,4 m^3	-	-	-	-
Giderilen kirlilik	77 kg	39,5 kg	-	1.134,6 kg	21 kg	-

Araştırma alanlarındaki ağaçların çeşitli özellikleri ile incelenen ekosistem hizmetleri arasındaki bağlantılılık da incelenmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Çalışma alanlarına göre bağımsız ve bağımlı değişkenlerin ilişkisi

Bağımsız değişkenler	Alan	Bağımlı değişkenler				
		Karbon depolama	Karbon tutma	Önlenen akış	Kirlilik giderimi	Oksijen üretimi
Gövde çapı	Kepez Kent Ormanı	+	+			+
	Zeytin Park	+	+		+	+
Ağaç yüksekliği	Kepez Kent Ormanı					
	Zeytin Park				+	+
Taç yüksekliği	Kepez Kent Ormanı				+	
	Zeytin Park	+	+			
Taç örtü alanı	Kepez Kent Ormanı	+	+		+	+
	Zeytin Park				+	

Gövde çapı hem Kepez Kent Ormanı'nda hem Zeytin Park'ta bağımlı değişkenlerden karbon tutma ve depolama ile oksijen üretimi üzerinde pozitif bir etki göstermiş olup, bu değişkenler gövde çapı artışına bağlı olarak artmıştır. Yapılan bazı çalışmalarda (Lin vd. 2020) karbon tutma ve depolamada gövde çapının en önemli rolü üstlenirken, önlenen yüzeysel akışta gövde çapı genelde taç ve yaprak alanı üzerinden dolaylı olarak etkili olup (Anys ve Weiler 2024), doğrudan etkisi olmayabilmektedir. Yine bazı çalışmalarda (Rahman vd. 2023) da gövde çapının yüzey akışında genellikle etkili olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, gövde çapının özellikle biyokütleye dayalı ekosistem hizmetlerinin en önemli belirleyicilerinden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Gövde çapındaki artış, ağacın odunsu biyokütlesinin ve buna bağlı olarak depolanan karbon miktarının artmasıyla doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda yıllık biyokütle artışının bir göstergesi olması nedeniyle karbon tutma ve oksijen üretimi üzerinde de belirleyici bir rol oynamaktadır. Buna karşılık önlenen yüzey akışı ve hava kirleticilerinin giderimi gibi ekosistem hizmetlerinin gövde çapından ziyade taç yapısı, yaprak alanı ve taç yoğunluğu gibi özelliklere daha fazla bağlı olduğu görülmektedir. Bu durum, farklı ekosistem hizmetlerinin aynı morfolojik değişkenlerden farklı düzeylerde etkilendiğini ve her bir hizmet için belirleyici

faktörlerin değişebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla kentsel yeşil alan planlamalarında yalnızca büyük gövde çapına sahip bireylerin korunması yeterli olmayıp, geniş ve sağlıklı taç gelişimine sahip ağaçların da desteklenmesi, birden fazla ekosistem hizmetinin eş zamanlı olarak artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Ağaç yüksekliği değişkenine bakıldığında, sadece Zeytin Park'ta kirlilik giderimi ve oksijen üretimi üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Ağaç yüksekliğinin kirlilik giderimi üzerinde etkili olmasının ağaç dikim sıklığıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. PM çökelmesi için rüzgar hızı ve yağış en önemli meteorolojik faktörlerdir ve birikim oranı rüzgar hızıyla birlikte önemli ölçüde artmaktadır (Linden vd. 2023). Zeytin Park'ta ağaç dikim aralığı 10 m'dir. Bu da her ağacın her yönden rüzgara ve güneş ışığına maruz kalmasına imkan sağlamaktadır. Rüzgar hızının, yüksekliğe bağlı olarak artmasından dolayı zeytin ağaçlarının boyu arttıkça rüzgara maruz kalma oranı artmakta bu da partikül madde yakalamayı ve dolaysıyla kirlilik giderimini artırmaktadır. Ancak yapılan bazı çalışmalarda (Beckett vd. 2000), bazı türler için 9 m s^{-1} üstündeki rüzgar hızlarında PM'nin geri sıçrama etkisi veya yeniden havaya karıştığına dair belirtiler bulunmuş ve bu durumun güçlü rüzgarlarda partikül madde birikim hızını sınırladığı belirtilmiştir. Kepez Kent Ormanı'nda ağaçlar sık dikim aralığına sahip olmasından kaynaklı rüzgara maruz kalma durumu sınırlıdır. Ancak yüksek boya sahip olmalarından kaynaklı yüksekliğe bağlı daha şiddetli rüzgar hızlarına maruz kalmaktadır. Bu da partikül maddelerin yeniden havaya karışma ihtimalini artırmasından dolayı ağaç yüksekliğinin Zeytin Park'ta kirlilik giderimi üzerinde gösterdiği pozitif etkiyi Kepez Kent Ormanı'nda göstermemesini açıklamaktadır.

Oksijen üretiminde ilk etken güneş ışığı alımıdır. Bundan sonra ise ağaç ve bitkinin yapısal özellikleri gelmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda (Valladeres 2003) ağaç yapısı ve yaprak dağılımından etkilenen ışık mevcudiyetinin, örtünün tepesinden dibine doğru genellikle 50 kattan fazla farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Kepez Kent Ormanı'nın oksijen üretiminde ağaç yüksekliğinin etkili rol oynamamasında ağaç kapalılık ve dikim sıklığının etkili olduğu düşünülmektedir. Zeytin Park'taki tüm zeytin ağaçları 10 m aralıklarla dikildiğinden her yönden ışık almaktadır. Ancak Kepez Kent Ormanı'ndaki ağaçlarda her yönden ışık alan ağaçlar oldukça sınırlıdır. Ayrıca Kepez Kent Ormanı'nda aynı meşcerede yer alan ağaçların boy ve çaplarının birbirine yakın olmasından dolayı ağaç yüksekliğinin oksijen üretiminde bir fark oluşturmaması beklenen bir durumdur. Zeytin Park'ta her ne kadar hava fotoğrafları ve ağaçların dikim yılları göz önünde bulundurularak meşcere oluşturulmuş olsa da hava fotoğrafları yanıltıcı olabilmektedir. Ağaç yüksekliğinin Zeytin Park'ta oksijen üretimi üzerinde etkili olmasında ağaç yüksekliği ile büyüme mevsimi uzunluğunun pozitif ilişki göstermesi rol oynamaktadır. Boyu uzun ağaçların daha fazla güneş radyasyonu yakalayabilmesi ve daha uzun kök yapısına sahip olmasıyla daha derindeki toprak suyunu emmeye elverişli olması sonucu, büyüme mevsimini daha geç bitirme eğilimindedirler. Bu da daha iyi fotosentetik koşullar sağlaması sonucu oksijen üretimini artırmaktadır (Tang vd. 2024).

Taç yüksekliği değişkenine bakıldığında Kepez Kent Ormanı'nda bağımlı değişkenlerden kirlilik giderimi üzerinde, Zeytin Park'ta ise bağımlı değişkenlerden karbon tutma ve karbon depolama üzerinde pozitif etki göstermiş olup, bu değişkenler taç yüksekliğine bağlı olarak artmıştır. Bu durum taç yüksekliğinin Kepez Kent Ormanında kirliliğin giderilmesinde; Zeytin Park'ta ise karbon tutma ve depolamada

önemli bir etmen olduğunu göstermektedir.

Güncel çalışmalar orman ekosistemlerinde karbon tutma ve depolamanın ağaç yüksekliğinden ziyade taç örtüsü, bazal alan (Sione vd. 2023), taç yapısı ve toplam biyokütle ile daha güçlü ilişkili olduğunu göstermektedir. Taç yüksekliği ile biyokütle arasında önemli bir ilişki bulunmasının (Wang vd. 2023) yanı sıra bu ilişkinin orman tipi, tür kompozisyonuna bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir (Su vd. 2025) Bu bağlamda, çalışmada geniş yapraklı zeytin ağaçlarında taç yüksekliğinin karbon tutma ve depolamada pozitif etki göstermesi bu türün açık alanda gelişmesi ve bireyler arası rekabetin sınırlı olması ile açıklanabilir. Açık alanlarda büyüyen geniş yapraklı türlerde, taç yüksekliğinde artış genellikle taç hacmi ve yaprak yüzey alanındaki artışla beraber gerçekleşmekte, bu durum fotosentetik kapasitenin ve dolayısıyla karbon depolama potansiyelinin artmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, taç yüksekliği zeytin ağaçlarında karbon depolamayı doğrudan değil, taç gelişimi ve yaprak alanı üzerinden dolaylı olarak etkileyen bir değişken olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık, iğne yapraklı türlerden oluşan Kepez Kent Ormanı'nda taç yüksekliğinin anlamlı bir etki göstermemesi, bu alanın kapalı meşcere yapısına sahip olması ve bireyler arası rekabetin yüksekliği ile ilişkilidir. İğne yapraklı türlerin hakim olduğu meşcerelerde taç gelişimi büyük ölçüde rekabet baskısı altında gerçekleşmekte ve alt taç kısımlarında baskılanma görülmektedir. Bu durum, taç yüksekliğinin değişkenliğini sınırlamakta ve modelde açıklayıcı bir değişken olarak önemini azaltmaktadır.

Bu çalışmada taç yüksekliğinin hava kirliliği giderimi üzerindeki etkisinin, tür ve alan yapısına bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Kepez Kent Ormanı'ndaki kızılçam ve fıstıkçamı türlerinde, taç yüksekliği kirlilik giderimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahipken, Zeytin Park alanındaki zeytin ağaçlarında bu değişkenin etkisiz olduğu görülmüştür. Bu durumun taç şekliyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

İğne yapraklı ağaçların, yaprak dökmeyen veya yaprak döken geniş yapraklı türlere göre havada bulunan PM'yi daha fazla uzaklaştırdığı iyi bilinmektedir (Sun vd., 2014 ; Khan ve Perlinger, 2017; Zhang Z. vd., 2017). Bu kısmen taç şekillerinden kaynaklanmaktadır, çünkü koni şeklindeki iğne yapraklı ağaçlar, küresel geniş yapraklı ağaçlara göre daha fazla türbülanslı hava hareketlerine maruz kalmaktadır (Beckett vd., 2000). İğne yaprakların yüzeylerinde pürüzlülük geniş yapraklara göre daha fazla olduğundan kirletici madde tutulumu da daha fazla olmaktadır (Pace ve Grote 2020).

İğne yapraklılarda taç yükseldikçe daha fazla rüzgar temas alanı, daha fazla türbülans ve daha fazla iğne yüzeyi anlamına gelmektedir. Bu durum taç yüksekliğinin kirlilik gideriminde etkisini artırmaktadır. Ancak zeytin gibi geniş yapraklı türlerde taç daha seyrek, düz yapraklı, daha az pürüzlüdür. Taç yükselse bile efektif yüzey artışı sınırlıdır. Bu nedenle taç yüksekliğinin kirlilik gideriminde etkisi yok veya zayıf olabilmektedir.

Taç örtü alanına bakıldığında Kepez Kent Ormanı için karbon depolama ve tutma ile kirlilik giderimi ve oksijen üretimi üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu görülmüştür. Zeytin Park için ise taç örtü alanının sadece kirlilik giderimi üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde, taç örtü alanının özellikle karbon tutma ve depolama üzerinde

önemli bir belirleyici olduğu vurgulanmaktadır. Taç örtüsü ile biyokütle arasında pozitif bir ilişki bulunabilmekle birlikte, biyokütlenin en güçlü belirleyicisinin gövde çapı olduğu ve allometrik modellerin büyük ölçüde bu değişkene dayandığı görülmektedir (Li vd. 2025). Andrew ve Slater (2014) tarafından Birleşik Krallık'ta yapılan taç boyutlarının küçültüldüğü ağaçlarda kirletici giderimini önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir. Aynı şekilde Wu vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada taç boyutlarının hava kalitesini iyileştirmede önemli bir etken olduğu, serbest olarak büyümeye bırakılan ağaçların, kirleticilerin yıllık % 149' unu ortadan kaldırdığı, buna karşın taç büyümesi kısıtlanan ağaçlarda bu oranın sadece % 88 seviyesinde kaldığı belirlenmiştir. Nowak vd. (2014) kentsel ağaçlarda taç boyutlarının partikül madde tutulumu ile doğrudan ilişkili olduğunu ve daha büyük taç hacmine sahip bireylerin daha yüksek ekosistem hizmeti sağladığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, daha yüksek ve geniş taç yapısına sahip ağaçlar, daha fazla kirletici yakalayabilmektedir ve dolayısıyla her iki çalışma alanı içinde kirlilik giderimi üzerinde taç örtü alanının etkili olması literatürdeki pek çok çalışmayı desteklemektedir. Buna karşın, kirlilik giderimi ve oksijen üretimi gibi hizmetlerin doğrudan taç örtü alanından ziyade yaprak yüzey özellikleri, stomatal iletkenlik ve fizyolojik süreçlere bağlı olduğu belirtilmektedir. Özellikle hava kirliliği giderimi, yalnızca taç alanına değil, yaprak yüzey özellikleri ve kirletici türüne bağlı olarak değişmekte olup (Hirabayashi vd. 2022), oksijen üretimi ise fotosentez süreci ile ilişkili olup, yalnızca taç alanından ziyade yaprak alan indeksi (LAI), ışık koşulları ve tür özellikleri tarafından belirlenmektedir.

Taç örtü alanının karbon depolama üzerindeki etkisinin türün fizyolojik özelliklerine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Zeytin (Olea europaea) gibi Akdeniz kökenli türler, kuraklığa adaptasyon çerçevesinde stomatal kontrollerle su kaybını sınırlandırmakta, bu durum ise fotosentetik karbon alımını kısıtlayabilmektedir (Sofo vd 2009; Sghaier vd. 2019). Bu nedenle, taç örtü alanındaki artış her zaman karbon tutma ve depolamada doğrusal bir artışa yol açmamaktadır. Dolayısıyla oksijen üretimi de karbon tutma ile bağlantılı olduğundan, taç örtü alanının Zeytin Park'ta karbon depolama üzerinde etkili olmamasından kaynaklı oksijen üretiminde de etkili olmaması beklenen bir durumdur. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, taç örtü alanının ekosistem hizmetleri üzerindeki etkisinin türün biyolojik özelliklerinden bağımsız olarak değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir. Aynı morfolojik değişken farklı türlerde benzer büyüklüğe sahip olsa bile, bu yapının ekosistem hizmetlerine katkısı türün büyüme stratejisi, taç mimarisi ve fizyolojik özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Kepez Kent Ormanı'nda baskın tür olan kızılçamların piramidal taç yapısı ve yıl boyunca fotosentetik faaliyetlerini sürdüren iğne yaprakları, taç örtü alanındaki artışın karbon depolama, karbon tutma ve oksijen üretimine daha belirgin şekilde yansımasına katkı sağlamış olabilir. Buna karşılık Zeytin Park'ta baskın tür olan zeytin ağaçlarının geniş ancak daha seyrek taç yapısı, düşük yaprak yenilenme hızı ve kurak dönemlerde stomatal iletkenliği azaltan fizyolojik adaptasyonları nedeniyle, taç örtü alanındaki artışın karbon temelli ekosistem hizmetlerine aynı düzeyde yansımadığı değerlendirilmektedir. Buna karşın hava kirleticilerinin giderimi açısından taç örtü alanının her iki çalışma alanında da etkili bulunması, kirletici tutulumunda yaprakların toplam temas yüzeyinin belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu durum, aynı morfolojik değişkenin farklı ekosistem hizmetleri üzerinde farklı düzeylerde etkili olabileceğini ve tür seçiminin yalnızca estetik veya büyüme özellikleri dikkate alınarak değil, hedeflenen ekosistem hizmeti doğrultusunda yapılmasının önemini ortaya

koymaktadır. Dolayısıyla kentsel yeşil alan planlamalarında tür seçimi ile taç mimarisi arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesi, ekosistem hizmetlerinden elde edilecek faydanın artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Genel olarak değerlendirildiğinde Kepez Kent Ormanı'nda, karbon tutma ve depolamada gövde çapı ve taç örtü alanı bağımsız değişkenlerinin etkili olduğu belirlenirken, Zeytin Park'ta karbon tutma ve depolamada gövde çapı ve taç yüksekliği etkili olmuştur. Önlenen yüzey akışında hem Kepez Kent Ormanı hem de Zeytin Park'ta hiçbir bağımsız değişkenin etkili olmadığı belirlenmiştir. Kirlilik gideriminde Kepez Kent Ormanı'nda taç örtü alanı ve taç yüksekliği etkiliyken, Zeytin Park'ta taç örtü alanı, ağaç yüksekliği ve gövde çapının etkili olduğu belirlenmiştir. Oksijen üretiminde Kepez Kent Ormanı'nda gövde çapı ve taç örtü alanı etkiliyken, Zeytin Park'ta gövde çapı ve ağaç yüksekliği etkili olmuştur.

Her iki alan için ekosistem hizmetlerinde etkili bağımsız değişkenlere bakıldığında farklılıklar olmakla beraber en az bir bağımsız değişken her iki alan içinde bağımlı değişken üzerinde ortak etki göstermiştir. Örneğin karbon tutma ve karbon depolama da gövde çapı, kirlilik gideriminde taç örtü alanı, oksijen üretiminde gövde çapı her iki alan içinde bahsedilen bağımlı değişkenler üzerinde etkili bağımsız değişkenlerdir. Bunun yanı sıra bulguların tamamı birlikte değerlendirildiğinde iki alanın farklı ekosistem hizmetlerinde farklı güçlü yönlerle öne çıktığı görülmektedir. Zeytin Park karbon tutma ve oksijen üretiminde, Kepez Kent Ormanı ise kirlilik giderimi ve su döngüsü hizmetlerinde daha iyi performans göstermiştir. Bu durum ekosistem hizmetlerinin belirlenmesinde alan büyüklüğündense türler, dikim sıklığı, ışık alma faktörünün etkili olduğunu göstermektedir.

Kentsel yeşil alan planlamalarında yalnızca alan büyüklüğünün artırılması değil, alanın tür kompozisyonu, yapısal çeşitliliği ve sağlayacağı ekolojik fonksiyonların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın bulguları da ekosistem hizmetlerinin yalnızca yeşil alan miktarına bağlı olmadığını; ağaç türü, bireylerin morfolojik özellikleri, taç yapısı, biyokütlesi ve alanın mekânsal organizasyonu gibi birçok faktörden etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle kentsel peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarında amaç, yalnızca yeşil alan miktarını artırmak değil, birim alandan elde edilecek ekosistem hizmetlerini en üst düzeye çıkaracak bitkisel tasarım kararlarını geliştirmek olmalıdır.

Ülkemizde büyük ölçekli parklar ve rekreasyon alanlarının planlanmasının yanı sıra cep parkları, refüjler, yol kenarı yeşil alanları, mahalle parkları ve diğer küçük ölçekli açık yeşil alanlarda gerçekleştirilen bitkisel tasarım uygulamaları da kent ekosistemine önemli katkılar sağlayabilmektedir. Bu tür alanlarda uygun tür seçimi, tür çeşitliliğinin sağlanması ve ekolojik açıdan birbirini tamamlayan bitki kompozisyonlarının oluşturulması; karbon depolama, karbon tutma, hava kirleticilerinin giderimi, oksijen üretimi, yağmur suyu yönetimi ve kentsel ısı adasının azaltılması gibi ekosistem hizmetlerinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla sınırlı büyüklüğe sahip alanlarda dahi bilimsel ölçütlere dayalı bitkisel tasarım kararları ile yüksek ekolojik faydalar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

Bunun yanında, kent içerisinde işlevini yitirmiş veya ekolojik açıdan bozulmuş alanların yeniden işlevlendirilmesi, yeni yeşil alan oluşturulmasına alternatif ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Atıl endüstri alanları, terk edilmiş maden sahaları, bozulmuş dere koridorları, taş ocakları, kullanılmayan ulaşım koridorları ve benzeri alanlar; mevcut bitki örtüsü korunarak ve bulunduğu bölgenin iklim koşullarına uygun, yüksek ekosistem hizmeti sağlayan türlerle desteklenerek yeniden kentsel ekosisteme kazandırılabilir. Bu alanlarda uygulanacak doğa temelli çözümler ve çok işlevli peyzaj tasarım yaklaşımları sayesinde yalnızca karbon depolama veya hava kalitesinin iyileştirilmesi değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin artırılması, habitat sürekliliğinin sağlanması, yağmur suyu yönetiminin iyileştirilmesi ve kent sakinlerinin rekreasyon olanaklarının geliştirilmesi gibi çok yönlü kazanımlar elde edilebilir. Bu bağlamda, gelecekteki kentsel yeşil alan planlamalarında tasarım kararlarının estetik kaygılarla birlikte ekosistem hizmetleri yaklaşımı doğrultusunda değerlendirilmesi, kentlerin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığının artırılmasına ve sürdürülebilir kentleşme hedeflerine önemli katkılar sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR

Kentleşme bir olgudur ve kent arazilerinin önümüzdeki 50 yıl içinde yaklaşık bir buçuk kat artacağı öngörülmektedir. Kentsel büyümenin planlanması sürdürülebilir gelecek için kritik önem taşımaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için, kentlerin genişleme talebine duyarlı, bunu öngören ve etkin bir şekilde ele alan kentsel ve bölgesel planlama stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (UN-Habitat, 2022).

Kentsel yeşil alanların ve kent ormanlarının en iyi nasıl yönetileceğini anlamak ve sağladıkları sayısız faydaların potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için politikacılar, yöneticiler ve halk tarafından bu alanların sağladığı faydaların somut olarak hesaplanmasına ihtiyaç vardır (Moffat, 2016; Raum vd. 2019). Daha iyi veriler etkili planlamanın anahtarıdır. İstatistiksel bilgiler elde etmek yerleşim düzenlerinin ve hizmetlere erişimin daha iyi sağlanması ve izlenmesini mümkün kılar. Şehirlerin ekolojik yönetimi de dahil olmak üzere doğru yönetiminin, sağlıklı ve dirençli bir çevre oluşturarak gelecekte de yaşanabilirliği sağlayacağı düşünülmektedir. Yeşil alan ya da kent ormanlarının topluma sağladığı faydaların ekonomik değerinin hesaplanması, bu alanların sağladığı faydaların somut olarak anlaşılmasına olanak tanıyarak yönetimlerin sürdürülebilir çevre politikaları izlemesine yol gösterici olarak katkı sağlayabilmektedir. Bu çalışmada Kepez Kent Ormanı ve Zeytin Park'ın sunduğu başlıca ekosistem hizmetleri nicel ve ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, her iki alanın da önemli düzeyde ekosistem hizmeti sağladığını göstermekle birlikte, bu hizmetlerin büyüklüğü ve ekonomik karşılığı bakımından belirgin farklılıkları ortaya koymuştur.

1.770.000 m^2 büyüklüğündeki Kepez Kent Ormanı'nın 1.611.822 m^2'lik kesimini oluşturan kızılçam ve fıstıkçamı türlerinin enerji tasarrufu, karbon tutma, hava kirliliğinin giderimi, önlenen yüzey akışı gibi ekosistem hizmetlerinin sağladığı yıllık ekonomik fayda 22 milyon TL (510.086 $)'yi aşarken, bu değerin büyük ölçüde hava kirliliği giderimi hizmetinden kaynaklandığı görülmüştür. Buna karşılık toplam yıllık maliyetlerin oldukça düşük seviyede kalması (68.650 TL), alanın net yıllık faydasını 21 milyon TL (486.900 $) gibi bir değere ulaştırmıştır. Ağaç başına yaklaşık 1005,1 TL (23 $) ve kişi başına 35,8 TL (0,8 $) net fayda üretilmesi alanın ekolojik açıdan değerini net ortaya koymuştur. Fayda-maliyet oranının 320,9 gibi yüksek bir değer alması, Kepez Kent Ormanı'nın sürdürülebilir kent planlaması açısından son derece önemli bir yere sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

2.630.000 m^2 büyüklüğündeki Zeytin Park'ın 1.146.723 m^2'lik alanını kaplayan zeytin ağaçlarının karbon tutma, hava kirliliğinin giderimi, önlenen yüzey akışı gibi ekosistem hizmetlerinin sağladığı net yıllık fayda yaklaşık 4 milyon TL (92.743 $) olarak belirlenmiştir. Bu alanda da en yüksek katkının hava kirliliği giderimi hizmetinden sağlandığı görülmektedir. Kepez Kent Ormanı ile karşılaştırıldığında, hem toplam fayda (4.282.885 TL (99.302 $)) hem de ağaç başına (387,59 TL (9 $)) ve kişi başına (6,97 TL (0,2 $)) düşen fayda değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fayda- maliyet oranının 68,9 olması, alanın ekonomik açıdan yine de oldukça verimli olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, her iki yeşil alanın da kentsel ekosistem hizmetleri açısından önemli olduğu, ancak Kepez Kent Ormanı'nın gerek birim alan ve ağaç başına düşen fayda, gerekse toplam fayda ve fayda-maliyet oranı bakımından daha yüksek bir performans sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. İki alanın yıllık maliyetleri birbirine çok yakınken sağladığı yıllık net fayda arasında yaklaşık 5 kat fark vardır. Bu durum ağaçların sağladığı ekosistem hizmetleri üzerinde alan büyüklüğünden çok, ağaç türü, ağaç yoğunluğu, ağaç yapısal özellikleri ve ekolojik yapı faktörlerinin önemli rol oynadığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, kentsel yeşil alan planlamasında yalnızca alan büyüklüğü değil, tür kompozisyonu ve ekolojik fonksiyonlarında dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, özellikle hava kirliliğinin yoğun olduğu kentlerde, yüksek ekosistem hizmeti sağlayan türlerin tercih edilmesi hem çevresel kaliteyi artıracak hem de ekonomik açıdan önemli kazanımlar sağlayacaktır. Ayrıca yeşil alanların sağladığı ekosistem hizmetlerinin genç ağaçlardan çok orta yaşlı veya yaşlı ağaçlarda daha fazla olduğu, bunda dikim sıklığının da etkili olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada daha önce ülkemizde yapılan çalışmalardan farklı olarak bir kent ormanının enerji tasarrufuna katkısının ekonomik faydasının hesaplanmış olmasının, ağaçların hangi durumlarda ne kadar enerji tasarrufu sağladığına dair yapılacak çalışmalar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

ABD Tarım Bakanlığı ve Orman Servisi'nin i-Tree'ye olan finansmanı durdurması nedeniyle i-Tree veri tabanına konum, kirlilik, yağış ve tür verisinin entegresi süresiz olarak durdurulmuştur. Bu çalışma kapsamında kirlilik, yağış ve konum verilerinin Antalya Kepez için programa girilmiş olması, gelecekte bu bölgede i-Tree Eco kullanılarak yapılacak çalışmalar için avantaj sağlamaktadır. Ayrıca i-Tree Eco programına veri entegre edilirken veri eksikliğinin tamamlanmasında bu çalışmada kullanılan veri eksiği tamamlama yöntemlerinin, veri eksiği olan i-Tree kullanıcıları için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmadaki ekosistem hizmetleri, ağaç ölçümlerine dayalı olarak belirlenmiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda çalı örtüsü ölçümleri de dahil edilerek yapılacak çalışmalar Akdeniz ikliminin hakim olduğu Antalya gibi sıcak illerde ağaç ve çalı türlerinin ekosistem hizmetlerinin karşılaştırılması ve planlamalarda tür kompozisyonunun ayarlanmasında yol gösterici olacaktır.

Ülkemizdeki kent planlama ve yönetim süreçlerinde yeşil alanların sağladığı ekonomik değer temelli bir yaklaşım henüz bulunmamaktadır. Halbuki bu alanlar yaygın olarak bilinen fiziksel, sosyal ve ekolojik yararlarına ek olarak topluma ekonomik yararlar da sağlamaktadır. Nitekim yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar yeşil alanların sağladığı ekonomik değerleri ortaya koymuştur. Ekonomik yararlarının olduğunun geniş halk ve yönetim kitlelerince bilinmesi bu alanlara yapılacak yatırımları da destekleyecektir. Günümüzde artan kentleşme, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin kentler üzerine baskılarının belirgin bir şekilde hissedildiği bu dönemde, kentsel yaşam kalitesinin artırılmasında yeşil alanlara daha fazla gereksinim duyulmaktadır.

7. KAYNAKLAR

Abayhan, A.D. 2009. Manzara sahipliliğinin konut fiyatına etkisi: İzmir ili Buca ilçesi Yedigöller rekreasyon alanı çevresine ilişkin ampirik çalışma. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 85 s.

Acet, D.B., Yavuz, G.C. ve Yildirak, K. 2025. Doğal Sermaye ve Ekosistem Hizmetleri: Kavramsal Temeller ve Mekansal Modelleme Araçları ile Küresel ve Türkiye Uygulamaları. *İstatistik Araştırma Dergisi,* 15(1):17-40. https://izlik.org/JA46FZ26RF

Aksoy, H., 1980. Silvikültür Terimleri. İstanbul Üni. Yayın no:2707, Orman Fakültesi Yayınları N:286,33 s.

Alkay, E. ve Ocakçı, M. 2003. Kentsel yeşil alanların ekonomik değerlerinin ölçülmesinde kullanılabilecek yöntemlerin irdelenmesi. *İtü Dergisi,* 2(1): 60-68.

Altunkasa M.F., 2008. Çevrenin ekonomik değeri. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, DOI:10.13140/RG.2.1.1707.8888

Alvarado, O. 2019. Measuring the benefits of urban nature-based solutions through quantitative asessment tools. Master's thesis, University of Utrecht, Netherlands, 65 p.

Andrew, C. and 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

Andrus, R. 2024. Western Redcedar Dieback Linked to Warmer, Drier Summers. https://foreststewardshipnotes.wordpress.com/2024/06/12/western-redcedar-dieback-linked-to-warmer-drier-summers/ [Son erişim tarihi: 24.04.2026].

Anys, M. and Weiler, M. 2024. Rainfall interception by urban trees: Event characteristics and tree morphological traits. *Hydrological Processes,* 38(4): e15146. https://doi.org/10.1002/hyp.15146

ASAT- Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü, 2024. Asat Genel Müdürlüğü Atıksu Tarifesi. Antalya Büyükşehir Belediye Başkanlığı Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü plan ve bütçe komisyon raporu, Antalya. https://akdenizgercekcomtr.teimg.com/akdenizgercek-com-tr/uploads/2024/07/su-zammi.pdf [Son erişim tarihi: 20.03.2026].

ASAT-Antalya Su ve Atıksu İdaresi Genel Müdürlüğü, 2025. 2025 Su Tarifeleri https://www.asat.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/9f5b3143-442d-4aea-8c6d-f0a66e87632e.pdf [Son erişim tarihi: 12.03.2026].

Atay, İ. 1988. Kent Ormancılığı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Beckett, K.P., Freer-Smith, P. and Taylor, G. 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Glob. Change Biol.,* 6(8): 995-1003. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00376.x

Blanusa, T., Fantozzi, F., Monacci, F. and Bargagli, R. 2015. Leaf trapping and retention of particles by holm oak and other common tree species in Mediterranean urban environments, *Urban Forestry & Urban Greening,* 14(4):

1095-1101. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.10.004

Bolund, P., ve Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics,* 29: 293-301.

Carbon Gate, 2025. Karbon kredisi nedir ve nasıl oluşur? .https://www.carbongate.io/post/karbon-kredisi-yesil-donusume-finansman-saglama-yontemi [Son erişim tarihi: 24.04.2026].

Champ, P.A, Boyle, K.J. and Brown, T.C. 2017. A Primer on Nonmarket Valuation. A primer on nonmarket valuation. Springer Nature, Netherlands, 504 s.

Chang, J., Shao, Z., Wang, J., Mao, Z., Cheng, T., Xu, X., and Zhuang Q. 2025. Estimation of carbon sequestration capacity of urban green infrastructure by fusing multi-source remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,* 141: 104643.https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104643

Chen, L., Peng, S., Liu, J. and Hou, Q. 2012. Dry deposition velocity of total suspended particles and meteorological influence in four locations in Guangzhou, China. *Journal of Environmental Sciences,* 24(4):632-9. 10.1016/S1001-0742(11)60805-X

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo,J., Raskin, R.G., Sutton, P., ve van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–260. https://doi.org/10.1038/387253a0

Cui, S. and Adams, M. 2025. Dry Deposition of Fine Particulate Matter by City-Owned Street Trees in a City Defined by Urban Sprawl. *Land. 14*(10): 1969.https://doi.org/10.3390/land14101969

Çepel, N., (1969). Belgrad Ormanı'nda birer kayın, meşe ve çam meşceresinde tespit edilen intersepsiyon (Tepe çatısında yağışın buharlaşması miktarları). Çeviren: Ertan Eruz*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B19 (2): 83-98.

Deniz, T., Ok, K., 2016. Erozyon kontrolü çalışmalarında değer analizi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University,* 66(1): 139-158. DOI: 10.17099/jffiu.18338

Diener, A. ve Mudu, P. 2021. How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities fora irborne 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

Du, J., Zhang, X., Huang, T., Gao, H., Mo, J., Mao, X. and Ma, J. 2019. Removal of PM2.5 and secondary inorganic aerosols in the North China Plain by dry deposition, *Science of The Total Environment,* 651(2): 2312-2322. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.024

EEA-European Environment Agency, 2024. Land use. https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/land-use [Son erişim tarihi: 24.04.2026].

Elma, S. 2020. Parkların mikroiklimsel etkilerinin Aydın Kanza Parkı (Antalya) örneğinde incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 93 s.

Elma, S. ve Ortaçeşme, V. 2024. i-Tree programı aracılığıyla yeşil alanların sağladığı ekonomik değerin saptanması. *Peyzaj,* 6(1):31-49. https://doi.org/10.53784/peyzaj.1496082

EPDK-Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2025. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik faturalarına esas tarife tabloları. https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-100/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari [Son erişim tarihi: 12.03.2026].

European Commission, 2013. Green infrastructure (GI) — Enhancing Europe's natural capital. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (COM (2013) 249 final), Brussels. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52013AE4135

EUROPEAN UNION. 2011. Mapping Guide for a European Urban Atlas. https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/documentos/urban-atlas-2012-mapping-guide-new.pdf [Son erişim tarihi: 24.04.2026].

Fairman, T., Livesley, S.J., Summers, J., Shear, I. and Pohls O. 2010. Using iTree STRATUM to estimate the benefits of street trees in Melbourne, Victoria; Master thesis. University of Melbourne: Parkville, Australia, 68 p.

FAO-Food and Agriculture Organization, 2020. Biodiversity for food and agriculture and ecosystem services – Thematic Study for The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. Rome. https://doi.org/10.4060/cb0649en

Farrell, C.A., Coleman, L., Kelly-Quinn, M., Obst, C.G., Eigenraam, M., Norton, D., O`Donoghue, C., Kinsella, S., Delargy, O. and 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. and 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.2013.12.0 08

Flores, A., Tito, H. and Silva, C. 2019. Local Average of Nearest Neighbors: Univariate Time Series Imputation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA),* 10(8): 45-50. http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100807

FOREST EUROPE, 2014. Valuation and Payments for Forest Ecosystem Services: Final report. 24–25 September 2014, Belgrade. https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/PES_Valuation_report_.pdf

Freeman III, A.M., Herriges, J.A. and Kling, C.L. 2003. The Measurement of Environmental and Resource Values. RFF press. New York. 459 s.

Freer-Smith, P.H., Beckett, K. and Taylor, G. 2005. Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoids trichocarpa* 'Beaupre', *Pinus*

nigra and *Cupresso cyparisleylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environ. Pollut.,* 133(1): 157-167. 10.1016/j.envpol.2004.03.031

Georgiou, S., Whittington, D., Pearce, D. and Moran, D. 1997. Economic Values and the Environment in the Developing World. Edward Elgar Publishing, UK. 192 p.

Güldal, G., Yaprak, G., Ergin Erdoğmuş, E., Lise, Y., Çekinkaya, Z. 2025. Ekosistem Hizmetleri ve Doğa Temelli Çözümler. Doğa Koruma Merkezi, Ankara.

Hanley, N., Wright, R.E. and Alvarez-Farizo, B., 2006. Estimating the Economic Value of Improvements in River Ecology Using Choice Experiments: An Application to th Water Framework Directive. *Journal of Environmental Management,* 78: 183-193.

Han, D., Shen, H., Duan, W. and Chen, L. 2020. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. *Urban Forestry &Urban Greening,* 48:126565. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565

Herrington, S. 2010. The nature of Ian McHarg's science. *Landscape Journal,* 29:1-10. https://www.scribd.com/document/721715777/Design-with-nature

Hepcan, Ç.C. ve Berberoğlu S. 2022. Doğa temelli çözümler kataloğu. Doğa Koruma Merkezi, Ankara.

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.

Hintural, W.P., Jeon, H.J., Kim, S.Y., Go, S. and Park, B.B. 2024. Quantifying Regulating Ecosystem Services of Urban Trees: A Case Study of a Green Space at Chungnam National University Using i-Tree Eco. *Forets, 15(8):* 1446. *https://doi.org/10.3390/f15081446*

Hirabayashi, S. 2013. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions. https://www.itreetools.org/documents/61/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions.pdf

Hirabayashi S., 2015. i-Tree Eco United States County-Based Hydrologic Estimates .https://www.itreetools.org/documents/114/Eco_US_county-based_hydrologic_estimates.pdf

Hirabayashi, S. ve Kroll, C.N. 2017. Single imputation method of missing air quality data for i-Tree Eco analyses in the conterminous United States, https://www.itreetools.org/documents/51/Single_imputation_method_of_missing_air_quality_data_for_i-Tree_Eco_analyses_in_the_conterminous_United_States.pdf

Hirabayashi vd. 2022. i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions. https://www.itreetools.org/documents/60/i-Tree_Eco_Dry_Deposition_Model_Descriptions_V1.5.pdf

Hofman, J., Bartholomeus, H. Calders, K., Van Wittenberghe, S., Wuyts, K. and Samson, R. 2014. On the relation between tree crown morphology and particulate matter deposition on urban tree leaves: a ground-based LiDAR approach. *Atmos. Environ.,* 99: 130-139.

https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.031

Hosker, Jr., R.P. and S.E. Lindberg. 1982. Review: atmospheric deposition and plant assimilation of gases and particles. *Atmospheric Environment,* 16(5): 889-910.

Huang, Y., Lei, C., Liu, C., Perez, P., Forehead, H., Kong, S. and 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 [Son erişim tarihi: 02.04.2026].

i-Tree, 2024 b. What does Eco provide?. https://www.itreetools.org/tools/i-Tree-eco [Son erişim tarihi: 02.04.2026].

i-Tree, 2024 c. Tools for Assessing Individual Trees, i- Tree Eco. https://www.itreetools.org/tools/i-Tree-eco [Son erişim tarihi: 02.04.2026].

i-Tree, 2024 d. What is i-Tree?. https://www.itreetools.org/about [Son erişim tarihi: 09.07.2026].

Kaçmaz Akkurt, G., M. Özeren Alkan, H. Çobankaya ve Şen, D. 2023. Assessment of ecosystem services provided by street trees: Burdur (Türkiye) city center. *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.,* 60 (2): 221-234, https://doi.org/10.20289/zfdergi.1226241

Khan, T. R. and Perlinger, J. A. 2017. Evaluation of five dry particle deposition parameterizations for incorporation into atmospheric transport models. *Geoscientific Model Development,*10: 3861–3888. 10.5194/gmd-10-3861-2017

Kais, K., Gołaś, M., Suchocka, M., Ziemiański, M. and Kalaji, H.M. 2025. The Role of Urban Trees in PM2.5 Mitigation: Air Quality Assessment and Absorption Capacity Comparison in Warsaw Alleys. *Journal of Soil, Plant and Environment,* 4(2):77-94.https://doi.org/10.56946/jspae.v4i2.730

Kaya, G. 2007. Orman Kaynaklarının Ürettiği Pazar Dışı Faydaların Ekonomik Değerinin İşlevsel Kaynak Yönetimine Entegrasyonunu Engelleyen Darboğazlar. Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss. 615-626, 17-19 Ekim, İstanbul.

Kim, J. Kang, Y., Kim, D., Son, S. and Kim, E.J. 2024. Carbon Storage and Sequestration Analysis by Urban Park Grid Using i-Tree Eco and Drone-Based Modeling. Forets, 15(4):683. https://doi.org/10.3390/f15040683

Kurt Konakoğlu, S.S. 2025. i-Tree Kanopi Yöntemiyle Kentsel Ekosistem Hizmetlerinin Nicel Değerlendirilmesi: Suluova Adnan Menderes Millet Bahçesi Örneği. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, *8* (1): 141-156. https://izlik.org/JA42WB88TG

Li, Y.-X., Ma. W., Zhang. W.-X., and He, P. 2025. Estimating Small-Scale Forest Carbon Sequestration and Storage: i-Tree Eco Model Improved Application. *Forests*, 16(9):1363. https://doi.org/10.3390/f16091363

Linden, J., Gustafsson, M., Uddling, J., Watne, A. and Pleijel, H. 2023. Air pollution

removal through deposition on urban vegetation: The importance of vegetation characteristics. Urban Forestry & Greening, 81:127843. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127843

Lin, J., Kroll, C.N. and Nowak, D.J. 2020. Ecosystem service-based sensitivity analyses of i-Tree Eco. *Arboriculture and Urban Forestry,* 46(4): 287–306.

Liu, H., Zhang, J. and Wang, Z. 2025. Assessing and optimizing the potential for climate change mitigation and carbon sequestration in urban residential green spaces: energizing sustainable cities. *Front. Environ. Sci.,* 13:1519297. doi: 10.3389/fenvs.2025.1519297

Liu, K., Zhang, H., Kong, L.H., Qiao, Y.J. and Hu, M.T. 2023. An overview of terrestrial ecosystem carbon sink assessment methods towards achieving carbon neutrality in China. *Acta Ecol. Sin.,* 43: 4294–4307.

Liu, N. and Zhang, F. 2025. Urban green spaces and flood disaster management: toward sustainable urban design. *Front. Public Health,* 13:1583978. doi: 10.3389/fpubh.2025.1583978

Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. Ecological Applications 4(4): 629-650.

Lowry, Z. 2022. How to measure tree diameter. [Son erişim tarihi: 24.04.2026].

Malkoç, E. 2024. Effects of Urban Tree Cover Decline on Capacity of Regulating Ecosystem Services in Edirne, Türkiye. *Ege Coğrafya Dergisi*, *33*(2):287-296. https://doi.org/10.51800/ecd.1578307

McPherson, E. G. and Simpson, J. R. 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guidelines for professional and volunteer tree planters. Gen. Tech. Rep. PSWGTR-171. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 237 p.

McPherson, E.G. and Simpson, J.R. 2003. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. *Urban Forestry & Urban Greening,* 2(2):73,86. https://doi.org/10.1078/1618-8667-00025

MEA- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

Moffat, A. J. 2016. Communicating the benefits of urban trees: A critical review. *Arboricultural Journal*, *38*(2): 64–82. https://doi.org/10.1080/03071375.2016.1163111

Morani, A., Nowak, D., Hirabayashi, S., Guidolotti, G., Medori, M., Muzzini, V., Fares, S., Scarascia Mugnozza, G. and Calfapietra, C. 2014. Comparing *i-Tree* modeled ozone deposition with field measurements in a periurban Mediterranean forest. *Environmental Pollution,* 195: 202-209. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.08.031

Murray, F.J., Marsh, L. and Bradford, P.A. 1994. New yYork State Energy Plan, vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.

Nowak, D.J. 1996. Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees. *For. Sci.,* 42(4): 504–507.10.1093/forestscience/42.4.504

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. and Ibarra, M. 2000. Brooklyn's Urban Forest. https://www.researchgate.net/publication/267196587_Brooklyn's_Urban_Forest

Nowak, D.J. and Crane, D.E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environ. Pollut.,* 116(3): 381–389. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7

Nowak, D. Hoehn, R. and Crane, D. 2007. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboric. Urban For.,* 33: 220–226.

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. and Greenfield, E.J. 2020. The increase of impervious cover and decrease of tree cover within urban areas globally (2012–2017). *Urban Forestry & Urban Greening,* 49: 126638. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126638

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

O'Neill, A. 2024. Share of the world's population living in urban or rural areas from 1960 to 2023. https://www.statista.com/statistics/1262483/global-urban-rural-population/ [Son erişim tarihi: 24.04.2026]

Orman Genel Müdürlüğü, 2017. Ekosistem tabanlı fonksiyonel orman amenajman planlarının düzenlenmesine ait usul ve esaslar. No: 299, Ankara. https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/mevzuat-sitesi/Tebligler/Ekosistem% 20Tabanl% C4% B1% 20Fonksiyonel% 20Orman% 20Amenajman% 20Planlar% C4% B1n% C4% B1n% 20D% C3% BCzenlenmesine% 20Ait% 20Usul% 20ve% 20Esaslar.pdf#search=Ekosistem% 20tabanl% C4% B1% 20fonksiyonel% 20orman% 20amenajman% 20planlar% C4% B1n% C4% B1n% 20d% C3% BCzenlenmesine% 20ait% 20usul% 20ve% 20esaslar% 2E

Orme, G. 2026. Voluntary carbon market in 2026: from uncertainty to maturity.https://onetribe.com/blog/voluntary-carbon-market-in-2026-from-uncertainty-to-maturity/ [Son erişim tarihi: 24.04.2026].

Ortaçeşme V., Özkan, B. ve Karagüzel, O. 1997. Doğal Çevrenin Ekonomik Değerinin Saptanmasında Kullanılan Yöntemler. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 10(1):249-260.

Ortaçeşme V., Özkan, B. and Karagüzel, O. 2002. An Estimation of the Recreational Use Value of Kursunlu Waterfall Nature Park by the Individual Travel Cost Method. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry,* 26 (1): 57-62.

Pace, R. and Grote, R. 2020. Deposition and Resuspension Mechanisms Into and From Tree Canopies: A Study Modeling Particle Removal of Conifers and Broadleaves in Different Cities. Front. For. Glob. Change, 3:26.

10.3389/ffgc.2020.00026

Pace, R., Guidolotti, G., Baldacchina, C., Pallozzi, E., Grote, R., Nowak, D.J. and Calfapietra, C. 2021. Comparing i-Tree Eco Estimates of Particulate Matter Deposition with Leaf and Canopy Measurements in an Urban Mediterranean Holm Oak Forest. *Environ Sci Technol*, 55(10): 6613–6622. doi: 10.1021/acs.est.0c07679

Plaia, A. and Bondi, A.L. 2006. Single imputation method of missing values in environmental pollution data sets. *Atmospheric Environment,* 40(38): 7316-7330.https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.040

Pretzsch, H. 2020. Density and growth of forest stands revisited. Effect of the temporal scale of observation, site quality, and thinning. Forest Ecology and Management, 460: 117879. 10.1016/j.foreco.2020.117879

Pugh, T.A.M., Mackenzie, A.R., Whyatt, D. and Hewitt, C.N. 2012. Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science and Technology,* 46(14):7692-9. 10.1021/es300826w

Qiu, L., Liu, F., Zhang, X. and Gao, T. 2018. The Reducing Effect of Green Spaces with Different Vegetation Structure on Atmospheric Particulate Matter Concentration in BaoJi City. China. *Atmosphere*, *9*(9): 332. https://doi.org/10.3390/atmos9090332

Rahman, M.A., Pawijit, Y., Xu, C. Moser-Reischl, A., Pretzsch, H., Rötzer, T. and Pauleit, S. 2023. A comparative analysis of urban forests for storm-water management. *Sci Rep,* 13: 1451. https://doi.org/10.1038/s41598-023-28629-6

Raum, S., Hand, K.L., Hall, C., Edwards, D.M., O'Brien, L. ve 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

Selim, C. ve Atabey, S. 2020. Kentsel Yol Ağaçlandırmalarının Sağladığı Faydaların Belirlenmesi: Antalya Atatürk Bulvarı Örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 34 (Özel Sayı): 235 – 248.

Selim., S., Dönmez, B. and Kilçik, A. 2023. Determination of the optimum number of sample points to classify land cover types and estimate the contribution of trees on ecosystem services using the I-Tree Canopy tool. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(3): 726–734, https://doi.org/10.1002/ieam.4704

Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L. and Nowak, D., 2016. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry & Urban Greening,* 17(1):192-201.https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010

Serageldin, I. 2002. World poverty and hunger - the challenge for science. *Science,* 54-58.

Sevgi, O., Ekşi, M. ve Tecimen H.B. 2024. Kent Yeşil Alanları Toprak Bilgisi. İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi, İstanbul, 140 s.

Sghaier, A., Perttunen, J., Sievaènen, R., Boujnah. D., Ouessar, M., Ayed, R.B. and Naggaz, K. 2019. Photosynthetical activity modelisation of olive trees growing under drought conditions. *Sci Rep,* **9**:15536. https://doi.org/10.1038/s41598-019-52094-9

Sharma, R., Bakshi, B.R., Ramteke, M., Kodamana, H., 2024. Quantifying ecosystem services from trees by using i-Tree with low-resolution satellite images. *Ecosystem Services,* 67:101611. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101611

Shuttleworth, W.J. 1992. Evaporation, in: Maidment, D.R., (Ed.), Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, Inc., New York, pp. 4.1 – 4.53.

Sione, S.M.J., Wilson, M.G., Ledesma, S.G., Gabioud, E.A., Oszust, J.D. and Rosenberger, L.J. 2023. Driving factors of tree biomass and soil carbon pool in xerophytic forests of northeastern Argentina. *Ecol Process.,* **12:**64. https://doi.org/10.1186/s13717-023-00478-1

Sofo, A., Dichio, B., Montanaro, G. and Xiloyannis, C. 2009. Shade effect on photosynthesis and photoinhibition in olive during drought and rewatering. *Agricultural Water Management.* 96(8): 1201-1206. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.004

Su, T.H., Lin, C.S. and Liu, C.P. 2025. City-scale $PM_{2.5}$ removal by urban trees: validation of i-Tree Eco and biomonitoring of $PM_{2.5}$-bound trace elements. *Ecological Indicators,* 181:1114390. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114390

Su, Y., Schwartz, M., Fayad, I., García, M., Zavala, M.A., Tijerín-Triviño, J., Astigarraga, J., Cruz-Alonso, V., Liu, S., Zhang, X., Chen, S., Ritter, F., Besic, N., d'Aspremont, A. and Ciais, P. 2025.Canopy height and biomass distribution across the forests of Iberian Peninsula. *Sci Data,* 12:678. https://doi.org/10.1038/s41597-025-05021-9

Sun, F., Yin, Z., Lun, X., Zhao, Y., Li, R., Shi, F. and YU, X. 2014. Deposition velocity of PM2.5 in the winter and spring above deciduous and coniferous forests in Beijing, China. *PLoS ONE,* 9(5): e97723. 10.1371/journal.pone.0097723

Takano, T., Nakamura, K. and Watanabe, M., 2002. Urban residential environments and senior citizens' longevity in mega-city areas: the importance of walkable green space. *J. Epidemiol. Commun. Health*, 56 (12): 913–916.

Tanaka, A., Takano, T., Nakamura, K. and Takeuchi, S. 1996. Health levels influenced by urban residential conditions in a megacity – Tokyo. *Urban Studies,* 33:879–894.

Tang, R., He, B., Shen, M., Zhong,Z., Xu, H., Li, T., Guo, L., Huang, L. and Huamg, X. 2024. How does canopy height regulate autumn photosynthetic phenology in the Northern Hemisphere?. *The Innovation Geoscience, 2(4):100095*. https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2024.100095

Tansley, A.G. 1935. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology*, 16(3): 284–307.

Tarr, J.A. 2010. "Urban environmental history", In: Uekoetter, F. (Ed.), The turning points of Environmental History, Pittsburg: University of Pitts-burg Press, pp. 72-89.

Taylor, G.E., Jr., Hanson, P.J., Baldocchi, D.D. 1988. Pollutant deposition to individual leaves and plant canopies: sites of regulation and relationship to injury. In: Heck, W.W., Taylor, O.C., Tingey, D.T., (Eds.), Assessment of crop loss from air pollutants, 227- 258. Elsevier Applied Science: London, England.

TEEB 2009. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for National and International Policy Makers, 2009. Strengthening indicators and accounting systems for natural capital. https://www.cbd.int/financial/values/g-accounting-teeb.pdf

TEEB, 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesisof the approach, conclusions and recommendations of TEEB, Malta. https://www.researchgate.net/publication/230743686_Mainstreaming_the_Economics_of_Nature_a_Synthesis_of_the_Approach_Conclusions_and_Recommendations_of_TEEB

TEEB, 2012. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. In: Kumar, P., (Ed.), Routledge, Abingdon and New York. https://observatoriopantanal.org/wp-content/uploads/crm_perks_uploads/5cb0f734750a11456042675850236/2019/08/2012_The_Economics_of_Ecosystems_and_Biodiversity_Ecological_and_Economic_Foundations.pdf

Tonyaloğlu E.E. 2023. Kent Ağaçlarının Kampüslerde Sağladığı Düzenleyici Ekosistem Hizmetlerinin İncelenmesi: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Örneği. *Ecological Perspective*, *3*(1): 19-27. https://doi.org/10.53463/ecopers.20230202

Trudgill, S. 2007. Classics in physical geography revisited: Transley, A.G. 1935: The use anda buse of vegetational concepts and terms. *Progress in Physical Geography,* 31(5): 501–507. DOI: 10.1177/0309133307083297

Tuğluer, M. 2019. Bazı Kent Ağaçlarının Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 129s.

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

Tuğluer, M. ve Gül, A. 2018. Kent ağaçlarının çevresel etkileri ve değerinin belirlenmesinde UFORE modelinin kullanımı ve Isparta örneğinde irdelenmesi, *Türkiye Ormancılık Dergisi,* 19(3): 293-307.

TÜİK-Türkiye İstatistik Kurumu.,2026. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2025. https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53899 [Son erişim tarihi: 20.04.2026].

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J. and James, P. 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using

Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning,* 81: 167–178. https://ggi.dcp.ufl.edu/_library/reference/Promoting%20ecosystem.pdf

UN-Habitat, 2022. Envisaging the future of cities. World cities report 2022, Kenya. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf [Son erişim tarihi: 12.02.2026].

United Nations, 2025. World Urbanization Prospects 2025: Summary of Results. UN DESA/POP/2025/TR/ NO. 12. New York: United Nations.https://desapublications.un.org/publications/world-urbanization-prospects-2025-summary-results?_gl=1*33l22l*_ga*MjEyNTI0NzQ1OC4xNzcyMTIzMDU0*_ga_TK9BQL5X7Z*czE3NzIxMjMwNTQkbzEkZzEkdDE3NzIxMjQzMjgkajYwJGwwJGgw

USDA Forest Service, 2006. i-Tree. https://www.fs.usda.gov/research/products/dataandtools/tools/i-Tree [Son erişim tarihi: 19.05.2024].

Üstündağ, Ç., Karataş, Ş. İ., Parıldar, N.N. and Artar, M. 2023. Kentsel ısı adalarının azaltılmasında yeşilaltyapı sistemlerinin önemi. *Peyzaj,* 5(2): 124-134. https://doi.org/10.53784/peyzaj.1406139

Üstün Topal, T. ve Demirel, Ö. 2023. Yeşil alanların ve ekosistem hizmetlerinin (esh) hava kalitesi üzerindeki etkilerinin web tabanlı i-Tree kanopi aracı kullanılarak ölçülmesi: İstanbul'da bir örnek çalışma. *Türk Orman Bilimleri Dergisi*, *7* (2): 253-266. https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1341656

Valladares, F. 2003. Light Heterogeneity and Plants: from Ecophysiology to Species Coexistence and Biodiversity. In: Esser, K., Lüttge, U., Beyschlag, W., Hellwig, F. (Ed.), Progress in Botany. Progress in Botany, vol 64. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55819-1_17

van Essen,H., Schroten, A., Otten,M., Sutter,D., Schreyer, C., Zandonella, R., Maibach, M. and Doll, C. 2011. External Costs of Transport in Europe. Netherlands:CE Delft. 161 p.

Veerkamp C.J., Schipper, A. M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A. and 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. and Castell, N. 2024. Reassessing the role of urban green space in air pollution control. *Earth, Atmospherıc, and Planetary Scıences,* 121 (6): e2306200121. https://doi.org/10.1073/pnas.2306200121

Wesely, M.L. 1989. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment,* 23(6): 1293-1304.

Wang, J., Endreny, T.A. and Nowak, D.J. 2008. Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model. *Journal of the American Water Resources Association*, 44(1): 75-85

Wang, K., Wang, Y., Wen, H., Zhang, X., Yu, J., Wang, Q., Han, S. and Wang, W. 2023. Biomass carbon sink stability of conifer and broadleaf boreal forests: differently associated with plant diversity and mycorrhizal symbionts?. *Environ Sci Pollut Res Int.,* 30(54):115337-115359. doi: 10.1007/s11356-023-30445-4.

Weber, F., Kowarik, I. And Säumel, I. 2014, Herbaceous plants as filters: immobilization of particulates along urban street corridors, *Environ. Pollut.,* 186: 234-240. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.011

WHO-World Health Organization, 2016. Urban green spaces and health: A review of evidence. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/74006ead-650d-4fca-815a-f1ff53c1eea1/content

Woldegerima, T., Yeshitela, K. and Lindley, S. 2017. Ecosystem services assessment of the urban forests of Addis Ababa, Ethiopia. *Urban Ecosyst,* 20:683–699. https://doi.org/10.1007/s11252-016-0624-3

Wu, J., Wang, Y., Qiu, S. ve 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.

Yamaguchi, A., Hashimoto, S., Wanhui, H., Dasgupta, R. and Meraj, G. 2025. Impact of urban planning on ecosystem services supply-demand balance: Stormwater retention and recreation in Chiba, Japan. *Urban Forestry & Urban Greening,* 114:129132.https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129132

Yetiş Pehlivan, Ş. 2023. Pazarı olmayan orman ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerinin belirlenmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, *9*(1): 141-148. https://doi.org/10.53516/ajfr.1265836

Yılmaz, F., Bayyurt, L., Abacı, S. H., ve Tahtalı, Y. 2020. Comparison of Least Squares and Some Bias Estimators in Multicollinearity. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *8*(3): 793–799. https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i3.793-799.3405

Yüksel, Ü. D. ve Yılmaz, O. 2008. Ankara kentinde kentsel isi adasi etkisinin yaz aylarinda uzaktan algilama ve meteorolojik gözlemlere dayali olarak saptanmasi ve değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4):937-952. https://izlik.org/JA56AP87DE

Zhao, D., Bullock, B.P., Montes, C.R., Wang, M., Westfall, J., Coulston, J.W. 2020. Long-term dynamics of loblolly pine crown structure and aboveground net primary production as affected by site quality, planting density and cultural intensity. Forest Ecology and Management,472:118259. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118259

Zhao, H., Zhao, D., Jiang, X., Zhang, S. and Lin, Z. 2023. Assessment of Urban Forest Ecological Benefit Based on the i-Tree Eco Model—A Case Study of Changchun Central City. *Forests, 14*(7):1304;https://doi.org/10.3390/f14071304

Zhang, Z., Liu, J., Wu, Y., Yan, G., Zhu, L. and Yu, X. 2017. Multi-scale comparison of the fine particle removal capacity of urban forests and wetlands. *Sci., Rep.*7: 1–13. 10.1038/srep46214

ÖZGEÇMİŞ

Sümeyra ELMA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2020-2026	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2017-2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2012-2016	İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İstanbul

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Peyzaj Mimarı 2016-2017	Royal Maket, İstanbul

ESERLER

1- Ortaçeşme, V. Elma, S. 2019. Climatic comfort and urban park design. International Design and Engineering Symposium, pp. 1-10, 10-12 October, İzmir Democracy University, İzmir.

2- Elma, S. Ortaçeşme, V. 2019. Kent parklarının iklimsel konfora katkıları: Antalya'dan bir örnek. Türkiye Peyzajları 3. Ulusal Konferansı, ss. 93-102, 7-9 Kasım, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.

3- Elma, S. and Ortaçeşme, V. 2023. Microclimatic Benefits of Urban Green. In: Altuntaş , A.(Ed.), Innovative Approaches in Planning and Design. Iksad Publishing House, Ankara, pp. 37-70.

4- Elma, S. ve Ortaçeşme, V. 2024. i-Tree programı aracılığıyla yeşil alanların sağladığı ekonomik değerin saptanması. Peyzaj, 6 (1): 31-49.

5- Elma, S., Durak, A., Tülek, B. and Atik, M. 2024. Botanical gardens and arboretums as regards to cultural landscapes: Three cases from Istanbul. Journaş of Architectural Sciences and Applications, 9 (2): 928-949.

6- Elma, S. and Ortaçeşme, V. 2025. Clımatıc benefıts of urban parks: case study ın a Medıterranean context. ICONARP International Journal of Architecture and Planning, 13 (2): 709-730.