Bursa Uludağ Üniversitesi
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Bursa Uludag University
Faculty of Agriculture

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ

Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University

Cilt 39 Volume

Sayı 2 Number

2025

Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi süreç yönetim ve alt yapı hizmetlerinden faydalanmaktadır.

Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi
Aşağıdaki veri tabanları tarafından taranmaktadır.

The Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University is abstracted/indexed by the databases below.

CAB International

TR Dizin

Dergimiz Hakkında/ About Our Journal

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi / Journal of Agricultural Faculty of Uludag University yayın hayatına 1982 yılında başlamıştır. Resmi Gazetenin 18.05.2018 tarih ve 30425 sayılı bülteninde yayımlanarak yürürlüğe giren Kanun uyarınca Üniversitemizin adının Bursa Uludağ Üniversitesi olarak değişmesi nedeniyle, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisinin yayımcı ve dergi ismine "Bursa" ibaresi eklenerek dergimizin ismi **Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi** olarak değişmiştir.

Journal of Agricultural Faculty of Uludag University started its publication in 1982. The name of our university has been changed as **Bursa Uludag University** due to the legislation published at the official gazette with the issue 30425 on 10.05.2018. Therefore the name of our journal was also changed as **Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University.**

Amaç/Aim

Tarım ve yaşam bilimleri ile ilgili alanlardaki araştırma ve derlemelerin Türkçe ve İngilizce dillerinde yayımlanarak bilginin ulusal ve uluslararası düzeyde paylaşımı amaçlanmaktadır.

It is aimed to publish the research and reviews in the fields of agriculture and life sciences in Turkish and English, and to share the knowledge at national and international level.

Kapsam/Scope

Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi eski adıyla Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Haziran ve Aralık olmak üzere yılda iki sayı olarak basılan **hakemli, akademik, bilimsel, uluslararası bir dergidir.** Dergi; bahçe bitkileri, bitki koruma, biyoenerji, biyosistem mühendisliği, doğal kaynaklar, genetik, gıda mühendisliği, gıda bilimi ve teknolojisi, peyzaj, süs bitkileri ve doğa koruma, su ürünleri ve balıkçılık, süt teknolojisi, tarım ekonomisi, tarım makinaları, tarımsal biyoteknoloji, tarımsal yapılar ve sulama, tarla bitkileri, toprak bilimi ve bitki besleme, topraksız yetiştiricilik ve zootekni gibi tüm ziraat alanları ile ilgili özgün araştırma makalelerini ve sınırlı sayıda derlemeleri kabul etmektedir.

Sunulan makaleler özgün olmalı ve Türkçe ya da İngilizce yazılmalıdır. Sunulan makaleler başka hiçbir yerde yayımlanmamış olmalıdır. Ancak, bir kongre ya da sempozyumda sadece özeti yayımlanan makaleler dergiye sunulabilir. Dergide yayımlanan tüm yazıların sorumluluğu yazarlarına aittir. Yayımlanan yazılar, yayımcının izni olmadan çoğaltılamaz. Yazılardan alıntı yapılması durumunda mutlaka referans gösterilmelidir. Dergimize yaptığınız atıflarda "**Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.**" kısaltması kullanılmalıdır.

Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University, formerly known as Journal of Agricultural Faculty of Uludag University, is a **refereed, academic, scientific, international journal** published twice a year, in June and December. Garden plants, plant protection, bioenergy, bio system engineering, genetics, natural resources, food science and technology, animal husbandry, landscaping, ornamental plants and nature conservation, aquaculture, agricultural economics, agricultural machinery, agricultural biotechnology, agricultural structures and irrigation, field crops, soil science and plant nutrition, soilless culture, are the general topics of the journal. Research articles are primarily included in the journal and a limited number of reviews are accepted. Articles submitted must be original and written in Turkish or English. The submitted articles should be unpublished elsewhere. The submitted articles should not be published anywhere else. However, abstract only articles previously published in a congress or symposium may be submitted as full text.

All articles published in the journal are the responsibility of their authors. Manuscripts may not be reproduced without the permission of the publisher. All rights to article published in this Journal are reserved by Agriculture Faculty of Bursa Uludağ University. Permission must be obtained for reproduction in whole or in part in any form. The title of the journal should be cited as "**Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.**"

Dergi Tarihçesi / Journal History

Derginin Önceki Adı / Formerly Name	ISSN	eISSN	Yıl
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Agricultural Faculty of Uludag University	1301-3165	2636-8595	1982-2018

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ
Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University
Görükle Kampüsü 16059 Bursa/Türkiye
e-ISSN 2651-4044
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi
Cilt / Volume: 39 **Sayı /Number: 2** **Yıl/Year: 2025**

Bursa Uludağ Üniversitesi
Ziraat Fakültesi Adına

Sahibi / Owner
Prof. Dr. İlhan TURGUT
Dekan/Dean

Baş Editör/Editor in Chief
Prof. Dr. Nilüfer SEYİDOĞLU AKDENİZ

Baş Editör Yardımcısı / Deputy Editor in Chief
Doç. Dr. Zeynep PİRSELİMOĞLU BATMAN

Alt Yayın Komisyonu
Prof. Dr. Nilüfer SEYİDOĞLU AKDENİZ
Prof. Dr. Tolga TİPİ
Prof. Dr. Ekin SUCU
Doç.Dr. Oya KAÇAR
Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY
Doç.Dr. Sevinç BAŞAY
Doç. Dr. Elif Yıldız
Dr. Öğr. Üyesi Kadir İLHAN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet POLAT

Sekreterya / Secretary
Dr.Öğr.Üyesi Aslıhan YILMAZ
Araş.Gör.Dr. Özüm ÖZOĞLU

İletişim/Contact
Tel: 0224 294 14 07
Fax: 0 224 294 14 02
e-posta: zfdergisi@uludag.edu.tr
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi

Kapak Sayfa Tasarım / Cover Page Design
Bursa Uludağ Üniversitesi Basımevi
Bursa - 2025

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ
Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University
Görükle Kampüsü 16059 Bursa/Türkiye
e-ISSN 2651-4044
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi
Cilt / Volume: 39 **Sayı /Number: 2** **Yıl/Year: 2025**

Editörler Kurulu / Editorial Board

Baş Editör/Editor in Chief
Prof. Dr. Nilüfer SEYİDOĞLU AKDENİZ
nilufers@uludag.edu.tr
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Prof. Dr. Ayşen UZUN
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Prof. Dr. Cevriye MERT
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Prof. Dr. Hakan BÜYÜKCANGAZ
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Prof. Dr. Tolga TİPİ
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor,
Prof. Dr. Ekin SUCU
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Prof. Dr. Barış Bülent AŞIK
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor,
Prof. Dr. Bilgehan YILMAZ DİKMEN
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor- page layout editor
Prof. Dr. Elvan ENDER ALTAY
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Doç. Dr. Oya KAÇAR
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor,
Doç. Dr. Gökhan ÖZSOY
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Doç. Dr. Zeynep PİRSELİMOĞLU BATMAN
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Doç. Dr. Sevinç BAŞAY
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Doç. Dr. Gülşah ÖZCAN SİNİR
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Doç. Dr. Hilal SUSURLUK
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Doç. Dr. Elif YILDIZ
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Dr. Öğretim Üyesi Kadir İLHAN
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor
Dr. Öğretim Üyesi Burcu ERDAL
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

Alan Editörü/Co Editor-page layout editor
Dr. Öğretim Üyesi Ahmet POLAT
Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ
Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University
Görükle Kampüsü 16059 Bursa/Türkiye
e-ISSN 2651-4044
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi
Cilt / Volume: 39 Sayı /Number: 2 Yıl/Year: 2025

Editörler Kurulu / Editorial Board

Diğer Üniversitelerden / From Other Universities

Prof. Dr. Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, Department of Landscape Architecture and Environmental Design, Mississippi State, USA.

Prof. Dr. Ali KOÇ, Eskişehir Osmangazi Üniv. Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Prof. Dr. Beatriz Duguy Pedra, University of Barcelona, Department of Evolutionary Biology, Ecology and Environmental Sciences, Barcelona, Spain.

Prof. Dr. Ebru Özer, Florida International University, Landscape Architecture+Environmental and Urban Design, Florida, USA.

Prof. Dr. Marco Antonio Juárez-estrada, National Autonomous University of Mexico, Department of Genetics and Biostatistics, Mexico City, Mexico.

Prof. Dr. Martina Lichovnikova, Mendel University in Brno, Department of Animal Breeding, Brno, Czech Republic,

Doç. Dr. Ş. Doğanay YENER, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İstanbul,

Doç. Dr. Jasmina TAHMAZ, University of Sarajevo, Faculty of Agriculture and Food Science, Bosnia and Herzegovinia

Assist. Prof. Giulia Maesano, Alma Mater Studiorum Universitå di Bologna,

Dr. Öğr. Üyesi Gamze BAYRAM, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ
Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University
Görükle Kampüsü 16059 Bursa/Türkiye
e-ISSN 2651-4044
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi
Cilt / Volume: 39 Sayı /Number: 2 Yıl/Year: 2025

Danışma Kurulu / Advisory Board

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyeleri Dergimizin Doğal Danışma Kurulu Üyeleridir.

The Faculty Members of Bursa Uludag University Agricultural Faculty are also the members of the Natural Advisory Board of our Journal.

Diğer Üniversitelerden/From Other Universities

Prof. Dr. Mehmet AYÇİÇEK, Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bingöl, TÜRKİYE

Prof. Dr. Erdoğan GÜNEŞ, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE

Prof. Dr. Alper SAĞLIK, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çanakkale, TÜRKİYE

Prof. Dr. Süleyman TABAN, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ece TURHAN, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eskişehir, TÜRKİYE

Prof. Dr. Mevlüt TÜRK, Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Isparta, TÜRKİYE

Prof. Dr. Zeliha GÖKBAYRAK, Çanakkale Onsekiz Mart Üniv., Ziraat Fak.,Çanakkale, TÜRKİYE

Prof. Dr. Tuğba DÜZENLİ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon, TÜRKİYE

Prof. Dr. Gölge SARIKAMIŞ, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE

Doç.Dr. Ahmed A.K. SALAMA, Universitat Autonoma de Barcelona, Department of Animal and Food Sciences, Ruminant Research Group, SPAIN

Doç. Dr. Bahadır ALTUN, Kırşehir Ahi Evran Üniv. Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Kırşehir, TÜRKİYE

Doç. Dr. Cüneyt TUNÇKAL, Yalova Üniv. Yalova MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Yalova, TÜRKİYE

Dr. Öğr. Üyesi Sergül ERGİN, Eskişehir Osmangazi Üniv. Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk GÖÇMEZ, Aydın Adnan Menderes Üniv. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Aydın, TÜRKİYE

Dr. Barış ALBAYRAK, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Yalova, TÜRKİYE

Dr. Erdinç UYSAL, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Yalova, TÜRKİYE

Mustafa BIYIKLI, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Yalova, TÜRKİYE

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ
Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University
Görükle Kampüsü 16059 Bursa/Türkiye
e-ISSN 2651-4044
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi
Cilt / Volume: 39 Sayı /Number: 2 Yıl/Year: 2025

İçindekiler / Contents

ARAŞTIRMA MAKALELERİ (Research Articles)

Peyzaj Tasarımında Bitki Veritabanlarının Rolü: Türkiye ve Dünya'dan Örneklerle Bir İnceleme
The Role of Plant Databases in Landscape Design: A Review with Examples from Turkey and the World
Ceren KAHVECİOĞLU, Alper SAĞLIK 255

Parasitism Efficiency of *Trichogramma evanescens* Westwood and *Trichogramma pintoi* Voegele on *Ephestia kuehniella* Zeller Eggs Reared on Different Larval Diets
Trichogramma evanescens Westwood ve *Trichogramma pintoi* Voegele'nin Farklı Larva Diyetlerinde Gelişen *Ephestia kuehniella* Zeller Yumurtalarını Parazitleme Etkinliği
Ali Kürşat ŞAHİN, Ali ÖZPINAR, Besime GÜR, Asude TÜRKOĞLU KEPEZ 267

Soya Sütü Üretim Makinesi Parametrelerinin Optimizasyonu
Optimization of Machine Parameters for Soy Milk Production
GULİYEV Zakir Vagif oğlu, ALİYEV Elman Muhtar oğlu 279

Farklı Ploidy Seviyelerine Sahip Olan Buğday Çeşitlerinde Verim ve Verime Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi
Investigation of Factors Affecting Yield and Yield in Wheat Varieties With Different Ploidy Levels
Canser DOLGUN, Esra AYDOĞAN ÇİFCİ 297

Dijital Ekolojinin Kentsel Mekâna Entegrasyonu: Çanakkale Örneği
Integration of Digital Ecology into Urban Space: The Case of Çanakkale
Mehmet İlkan BAYRAK, Alper SAĞLIK 315

Ceviz matriksinde Gaz Kromotografisi – Kütle Spektrometresi (GC-MS/MS) İle Etilen Oksit Kalıntılarının Tespiti İçin Metot Optimizasyonu
Method optimization for analysis of ethylene oxide residues in walnut matrix using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS/MS)
Gülden HAZARHUN, Büşra MADEN, Simge ERTAŞ ÖZKAN, Burcu GÜMÜL, Ecem Ezgi ARABACI, Nabi Alper KUMRAL 329

Göl Yüzey Alanı Değişimlerinin CBS ile İzlenmesi: Bursa İli
Monitoring of Lake Surface Area Changes with GIS: Bursa Province
Merve KÜÇÜK, Kutlu Melik TAŞDELEN, Şerife Tülin AKKAYA ASLAN 343

Farklı Bakla (*Vicia faba* L.) Genotiplerinin Yem Verimleri ve Bazı Yem Kalite Özellikleri
Forage Yield and Some Forage Quality Characteristics of Different Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes
Sinem ZERE TAŞKIN, Sema KARAŞIN, Ezgi ŞENSES, Mehmet Can KARAKAYA, Fikret YÖNTER, Önder CANBOLAT, Abdullah KARASU, Uğur BİLGİLİ 359

Tarihi Dokuda Kent Mobilyalarının İşlevselliği ve Kimliği: Harput Meydanı Örneği
Functionality and Identity of Urban Furniture in Historical Context: The Case of Harput Square
Betül YILDIRIM, Ayça GÜLTEN, Müge ÜNAL 371

Siyah Alaca Sığırlarda Sağım ve Meme Başı Özelliklerini Etkileyen Çevresel Faktörler
Environmental Factors Affecting Milking and Teat Traits in Holstein Cattle
Nazlı ÖZHELVACI BAYAR, Serdar DURU 395

Iğdır Üniversitesi Şehit Bülent Yurtseven Yerleşkesi'ndeki Peyzaj Çalışmalarında Kullanılan Zehirli Bitkiler
Poisonous Plants Used in Landscaping Studies in Iğdır University Şehit Bülent Yurtseven Campus
Rıdvan TİK, Tuncay KAYA 413

Ulaşım Ağında Araç ve Yaya Erişilebilirliğinin İşlevsel, Ekolojik ve Algısal Boyutları: Bandırma Caddesi (Balıkesir) Örneği
Functional, Ecological, and Perceptual Dimensions of Vehicle and Pedestrian Accessibility in the Transportation Network: The Case of Bandırma Street (Balıkesir)
Zeynep PİRSELİMOĞLU BATMAN, Ebrar ZENGİN, Elvan ENDER ALTAY 429

DERLEMELER (Reviews)

Use of Machine Learning in Olive Cultivation: A Review
Zeytin Yetiştiriciliğinde Makine Öğrenmesi Kullanımı: Derleme
Dilan SARPKAYA, Müge KESİCİ BAYSOY, Zeynep TACER CABA, Fatih KAHRAMAN, Gül Tekin TEMUR 453

Recent Advances on the Effects of Intraspecific and Interspecific Pheromones on Host Seeking Behavior of Entomopathogenic Nematodes
Entomopatojen Nematodların Tür İçi ve Türler Arası Feromonlarının Konukçu Arama Davranışı Üzerindeki Etkilerine İlişkin Son Gelişmeler
Alperen Kaan BÜTÜNER, Orkun Barış KOVANCI, İsmail Alper SUSURLUK.....471

Karbon Depolama Performansının Değerlendirilmesi: Peyzaj Ölçeğinde Çok Boyutlu Bir Literatür Taraması
Assessing Carbon Storage Performance: A Multidimensional Literature Review at the Landscape Scale
Osman ZEYBEK.....481

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ
Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University
e-ISSN 2651-4044
https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursauludagziraat
http://www.uludag.edu.tr/ziraatdergi
Aralık/2025, 39(2), s. 481-502

DERLEME REVIEW

Geliş Tarihi (Received): 08.03.2025
Kabul Tarihi (Accepted): 25.07.2025

Karbon Depolama Performansının Değerlendirilmesi: Peyzaj Ölçeğinde Çok Boyutlu Bir Literatür Taraması[A]

Osman ZEYBEK[1*]

Öz: Küresel iklim değişikliğiyle mücadelede peyzaj tasarımı önemli bir rol oynamaktadır. Yeşil alanlarda karbon depolama kapasitesinin artırılması hem karbon dengesine katkı sunmakta hem de doğa temelli çözümler bağlamında sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir. Bu çalışma, farklı peyzaj tiplerinde karbon sekestrasyonunu değerlendiren güncel çalışmaları sistematik biçimde sınıflandırmakta ve analiz etmektedir. Bulgular, doğrudan ölçüm, uzaktan algılama ve modelleme temelli yöntemler; kentsel, ormanlık, tarımsal ve sulak alan peyzajları; ağaçlar, çalılar, çayır türleri ve sucul bitkiler gibi bitki grupları olmak üzere üç temel eksende ele alınmıştır. Her alt başlık altında çok sayıda ulusal ve uluslararası çalışmadan elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak sunulmuş; yöntemlerin avantajları, sınırlılıkları ve uygulanabilirlik düzeyleri tartışılmıştır. Sonuç olarak, karbon depolamanın yalnızca orman alanlarında değil, kent içi yeşil alanlardan sulak alanlara kadar çok çeşitli peyzaj biçimlerinde optimize edilebileceği vurgulanmaktadır. Çalışma, peyzaj mimarlığı, çevre planlama ve sürdürülebilir tasarım disiplinlerine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karbon depolama, Yeşil altyapı, Biyokütle tabanlı ölçüm yöntemleri, Uzaktan algılama ile karbon hesaplama, Bitki örtüsüne dayalı karbon hesaplama, Ekosistem hizmetleri.

[A] Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

[1*] **Sorumlu yazar / Corresponding Author:**, Osman Zeybek, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Bursa, Türkiye. osmanzeybek@uludag.edu.tr, OrcID: 0000-0002-2752-407X.

Atıf/Citation: Zeybek, O. 2025. Karbon Depolama Performansının Değerlendirilmesi: Peyzaj Ölçeğinde Çok Boyutlu Bir Literatür Taraması. *Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 39 (2), 481-502. https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1653411

Assessing Carbon Storage Performance: A Multidimensional Literature Review at the Landscape Scale

Abstract: Landscape design plays a vital role in the global effort to combat climate change. Enhancing carbon storage capacity in green areas contributes to climate regulation and supports sustainability goals within the framework of nature-based solutions. This study provides a systematic review and classification of recent research evaluating carbon sequestration in landscape contexts. The findings are organized along three axes: (1) methodological approaches including direct measurement, remote sensing, and modeling; (2) landscape types such as urban green spaces, forested areas, agricultural lands, and wetlands; and (3) plant functional groups including trees, shrubs, grasses, and aquatic vegetation. Each section presents comparative insights from national and international literature, highlighting the strengths, limitations, and practical applications of various approaches. The review emphasizes that carbon storage can be optimized not only in forested regions but also in diverse landscape forms ranging from city parks to wetlands. This work aims to contribute to the fields of landscape architecture, environmental planning, and sustainable design.

Keywords: Carbon sequestration, Green infrastructure, Biomass estimation methods, Remote sensing in carbon accounting, Vegetation-based carbon storage, Ecosystem services.

Giriş

İklim değişikliği, gezegenimiz için en kritik çevresel tehditlerden biri olarak kabul edilmekte ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik küresel çabaları gerektirmektedir (IPCC, 2023). Karbon depolama kapasitesinin artırılması, iklim değişikliği ile mücadelede kilit stratejilerden biri olarak ön plana çıkmaktadır (Nowak and Crane, 2002; Churkina et al., 2020a). Bu bağlamda peyzaj tasarımı, yalnızca bitkisel örtü planlamasından ibaret olmayan, aynı zamanda estetik, fonksiyonel ve ekolojik faktörleri içeren kapsamlı bir disiplindir (Forman, 2014; Lovell and Taylor, 2013). Peyzaj tasarımı, sürdürülebilir kentsel gelişimi destekleyerek ekosistem hizmetlerinin sağlanmasında kritik bir rol oynar ve bu süreçte karbon depolama kapasitesini optimize edecek stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır (Haaland and van den Bosch, 2015).

Peyzaj tasarımının karbon depolama kapasitesi üzerindeki etkisi, özellikle kentsel alanlarda ve yoğun nüfuslu bölgelerde önem kazanmaktadır. Kentleşme ve arazi kullanımı değişiklikleri, doğal ekosistemleri azaltarak karbon yutaklarının kapasitesini düşürmekte ve atmosferik karbon seviyelerini artırmaktadır (Seto et al., 2012; Grimm et al., 2008). Bu nedenle, şehirlerde ve kırsal alanlarda bitkisel tasarım elemanlarının stratejik olarak planlanması hem karbon depolamayı artırmak hem de şehirlerin iklim değişikliğine karşı direncini güçlendirmek için temel bir yaklaşımdır (Kabisch et al., 2015).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kentsel yeşil altyapının karbon depolama kapasitesine katkısını net bir biçimde ortaya koymaktadır. Özellikle çok katmanlı bitkisel yapılar (ağaçlar, çalılar, otsu bitkiler vb.), tek katmanlı bitkilendirmeye göre daha yüksek karbon depolama kapasitesi sergilemektedir (Davies et al., 2011; Tallis et al., 2021a). Ayrıca, farklı peyzaj tiplerinde (örneğin parklar, ormanlaştırılmış alanlar, sulak alanlar, tarımsal peyzajlar) karbon depolama potansiyelinin değişkenlik gösterdiği ve bu farklılıkların yönetim stratejileri ve bitki türü seçimi ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Nowak et al., 2020; Gómez-Baggethun et al., 2021a; Xu et al., 2023a).

Karbon depolama kapasitesini belirlemeye yönelik yöntemler arasında doğrudan biyokütle analizleri, toprak karbon ölçümleri, uzaktan algılama teknikleri (LiDAR, NDVI) ve modelleme yaklaşımları yer almaktadır (Ahmed et al., 2022; Askar et al., 2019). Bu yöntemlerin avantajları, sınırlılıkları ve kullanım alanları konusunda kapsamlı bir değerlendirme yapmak, sürdürülebilir peyzaj tasarımı stratejilerinin oluşturulmasında bilimsel ve pratik değer taşımaktadır (Lin et al., 2016a).

Bu çalışma, peyzaj tasarımı ve karbon depolama ilişkisini daha geniş kapsamlı ve sistematik bir biçimde inceleyerek mevcut yöntemleri değerlendirmekte, farklı peyzaj tiplerinde karbon depolama potansiyelini analiz etmekte ve sürdürülebilir peyzaj yönetimine yönelik bilimsel bir temel sunmaktadır. Bu bağlamda çalışma, peyzaj tasarımcıları, çevre planlamacıları ve politika yapıcılar için karbon depolama kapasitesini artırmaya yönelik rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, peyzaj tasarımının karbon depolama kapasitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla sistematik bir literatür taraması yaklaşımını benimsemiştir. Sistematik literatür taraması PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yönergelerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Page et al., 2021).

Literatür taraması, Web of Science, Scopus, Google Scholar ve JSTOR veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama için belirlenen anahtar kelimeler: "carbon sequestration", "carbon storage", "landscape design", "urban green spaces", "vegetation", "biomass analysis", "soil organic carbon", "remote sensing", "LiDAR", "NDVI", "ecosystem-based solutions" şeklindedir. Anahtar kelimeler hem tek tek hem de çeşitli kombinasyonlar halinde kullanılmıştır. Tarama 2000 ile 2024 yılları arasında İngilizce yayınlanmış makaleleri kapsamaktadır.

Başlangıçta veri tabanlarından toplam 1.245 yayın elde edilmiştir. Bu yayınların ön değerlendirilmesi başlık ve özet incelemesiyle gerçekleştirilmiş, bu aşamada 452 yayın çalışma konusu ile doğrudan ilişkili bulunarak tam metin değerlendirmesine alınmıştır. Tam metin değerlendirmesinde ise karbon depolama yöntemlerini açık ve detaylı biçimde ele alan, peyzaj planlama açısından uygulanabilir sonuçlar sunan 117 çalışma seçilmiştir.

Seçilen çalışmalar üç ana kategoriye ayrılarak analiz edilmiştir:

1. Doğrudan Ölçüm Yöntemleri: Biyokütle analizleri ve toprak organik karbon ölçümlerini içeren çalışmalardır.
2. Uzaktan Algılama Yöntemleri: LiDAR, NDVI ve diğer uzaktan algılama tekniklerini içeren çalışmalardır.

3. Modelleme Yöntemleri: IPCC yöntemleri, i-Tree, CITYgreen ve InVEST gibi modelleme araçlarını ve veri tabanlarını içeren çalışmalardır.

Her kategori altında yöntemlerin avantajları, sınırlılıkları ve kullanım alanları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, yöntemlerin karbon depolama kapasitesini ölçme doğruluğu, maliyetleri ve uygulanabilirliği gibi özellikleri de dikkate alınmıştır.

Bu çalışma teorik bir derleme niteliği taşıdığı için herhangi bir uygulamalı saha çalışmasını içermemektedir. Bu nedenle yöntemlerin etkinliği üzerine bölgesel uygulama farklılıkları ve saha testleri göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışma, peyzaj tasarımı ve karbon depolama kapasitesi arasındaki ilişkiyi net ve bilimsel bir temel üzerinden ele alarak, ilgili alanda çalışan araştırmacılar ve uygulayıcılar için rehber niteliği taşımaktadır. Makale hazırlanırken araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Bulgular

Yöntem Türlerine Göre Çalışmalar

Literatür, peyzaj bitkilerinde karbon sekestrasyonunu (depolamasını) tahmin etmeye yönelik üç ana yöntemsel yaklaşım ortaya koymaktadır: doğrudan arazi ölçümleri, uzaktan algılama teknikleri ve modelleme tabanlı yöntemler. Her bir yaklaşım, son yıllarda yapılan çalışmalarda belirtilen özgün uygulamalara, gelişmelere ve doğruluk düzeylerine sahiptir.

Doğrudan ölçüm yöntemleri

Karbon sekestrasyonunun değerlendirilmesinde doğrudan ölçüm yöntemleri, yüksek doğruluk sağlayan temel yaklaşımlardır. Bu yöntemler hem biyokütle hem de toprak karbonunun sahada ölçülmesine dayanır.

Biyokütle ölçümleri: Ağaç biyokütlesi, genellikle gövde çapı, ağaç yüksekliği gibi morfometrik ölçümler alınarak ve allometrik denklemler uygulanarak tahmin edilir. Alternatif olarak, bazı araştırmalarda doğrudan hasat yöntemiyle biyokütle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Yıldız ve Çiçek (2023a), İstanbul'daki Özgürlük Parkı'nda yaptıkları arazi çalışmalarıyla ağaçların biyokütle ve karbon depolama miktarlarını nicel olarak ortaya koymuş ve bu ağaçların atmosferik CO_2 seviyelerini düzenlemede önemli katkı sağladığını belirtmişlerdir.

Toprak karbonu ölçümleri: Toprak organik karbonu, genellikle toprak örneklerinin alınması ve laboratuvarda karbon içeriğinin analiz edilmesi yoluyla ölçülür. Hang ve arkadaşları (2018), Çin'in Loess Platosu'nda toprak karbonunun arazi kullanımına göre nasıl değiştiğini belgeleyerek, doğrudan ölçüm yöntemlerinin arazi kullanım değişikliklerinin etkilerini belirlemede etkili olduğunu göstermiştir.

Radyometrik yöntemler: Isotopik teknikler, özellikle sulak alanlar gibi ekosistemlerde karbon birikiminin uzun vadeli izlenmesinde kullanılır. Örneğin, Mistry ve arkadaşları (2024), 137Cs ve 210Pb izotoplarını

kullanarak organik karbon birikim oranlarını karşılaştırmış ve her iki yöntemin de güvenilir sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Yöntemlerin karşılaştırılması ve uygulanabilirliği: Doğrudan ölçüm yöntemleri, parsel düzeyinde yüksek hassasiyet sağlamakta ve diğer yöntemlerin kalibrasyonu için vazgeçilmezdir. Ancak, bu yöntemler oldukça emek yoğun ve mekânsal olarak sınırlıdır. Petrokofsky ve arkadaşları (2012), farklı karbon stok ölçüm yöntemlerini karşılaştırarak, doğrudan ölçümlerin doğruluk açısından üstün olduğunu, ancak geniş alanlara uygulanabilirliklerinin kısıtlı olduğunu belirtmiştir. Öte yandan, doğrudan ölçüm verileri, uzaktan algılama ve modelleme çalışmalarının kalibrasyonu ve doğrulaması için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, farklı yöntemlerin birlikte kullanılması, karbon sekestrasyonu değerlendirmelerinde daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Uzaktan algılama yaklaşımları

Uzaktan algılama teknolojileri, geniş alanlarda karbon stoklarının izlenmesi ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda, farklı sensör türleri ve veri işleme teknikleri kullanılarak karbon sekestrasyonunun daha doğru ve verimli bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmıştır.

Optik sensörler ve indeksler: Optik sensörler, bitki örtüsünün yansıma özelliklerini kullanarak biyokütle ve karbon stoklarını tahmin etmede yaygın olarak kullanılmaktadır. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) gibi indeksler, bitki sağlığı ve yoğunluğu hakkında bilgi sağlayarak karbon sekestrasyonunun izlenmesine katkıda bulunur. Ancak, yoğun ormanlık alanlarda doyma problemi gibi sınırlamalar bulunmaktadır (Xu et al., 2025).

Radar ve LiDAR teknolojileri: Sentetik açıklıklı radar (SAR) ve LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojileri, özellikle ormanlık alanlarda karbon stoklarının tahmininde yüksek doğruluk sağlar. SAR, bulut örtüsünden etkilenmeden veri toplayabilirken, LiDAR, orman yapısının üç boyutlu özelliklerini belirlemede etkilidir. Bu teknolojiler, özellikle tropikal bölgelerdeki karbon stoklarının izlenmesinde önemli avantajlar sunmaktadır (Goetz et al., 2009).

Veri füzyonu ve makine öğrenimi: Farklı uzaktan algılama verilerinin birleştirilmesi (veri füzyonu), karbon stoklarının daha doğru tahmin edilmesini sağlar. Özellikle Sentinel-1, Sentinel-2 ve LiDAR verilerinin kombinasyonu, orman karbon stoklarının tahmininde yüksek doğruluk sağlamıştır. Makine öğrenimi algoritmaları ise bu veri setlerini işleyerek tahmin kalitesini belirgin şekilde arttırmaktadır (Balestra et al., 2024; Li et al., 2022).

Yüksek çözünürlüklü görüntüler ve derin öğrenme: Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, orman karbon stoklarının daha ayrıntılı tahmin edilmesine olanak tanır. Derin öğrenme teknikleri, bu görüntülerden elde edilen verileri işleyerek karbon stoklarının tahmininde kullanılmaktadır. Özellikle, stil transferi gibi teknikler, farklı bölgelerdeki veri setleri arasındaki farkları azaltarak modelin genellenebilirliğini artırmaktadır (Yu et al., 2025).

Toprak organik karbonunun uzaktan algılanması: Toprak organik karbonunun (SOC) tahmini, uzaktan algılama teknikleriyle de gerçekleştirilmektedir. Özellikle, multispektral uydu verileri ve makine öğrenimi

algoritmaları kullanılarak SOC tahminleri yapılmaktadır. Bu yöntemler, geniş alanlarda toprak karbonunun izlenmesine olanak tanır (Wang et al., 2022; Wong et al., 2023).

Modelleme yöntemleri

Karbon sekestrasyonu modelleme yaklaşımları, atmosferdeki karbondioksitin (CO_2) azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. Bu modeller, karbonun toprakta, bitki örtüsünde ve yer altı jeolojik formasyonlarda nasıl depolandığını ve zamanla nasıl değiştiğini anlamaya yardımcı olur. Yakın dönem literatürü, bu yöntemlerin çeşitliliğini ve farklı uygulama alanlarındaki etkinliğini ortaya koymaktadır.

Toprak organik karbon modelleri: Toprak organik karbon (SOC) dinamiklerini modellemek için geliştirilen yaklaşımlar arasında CQUESST modeli (Carbon Quantification and Uncertainty from Evolutionary Soil Stochastics) öne çıkmaktadır. Bu model, toprak karbonunun farklı havuzlar arasında geçişini, belirsizlik analizlerini ve stok değişimlerini yüksek doğrulukla tahmin etmeyi amaçlar (Pagendam et al., 2024). CQUESST, özellikle tarım arazilerinde ve uzun dönemli karbon izlemlerinde kullanılmaktadır.

Orman ekosistem modelleri: Ormanlık alanlarda karbon depolanmasını modellemek üzere geliştirilen CBM-CFS3 (Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector) modeli, Kanada Orman Servisi tarafından geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu model, farklı orman türleri ve yönetim senaryoları altında karbon döngüsünü detaylı bir şekilde simüle eder (Kurz et al., 2009). Ayrıca FORMIND modeli, özellikle tropikal ormanlar için birey tabanlı bir simülasyon ortamı sunar ve orman dinamiklerini, türler arası rekabeti ve karbon akışlarını uzun vadede takip etmeyi sağlar (Köhler and Huth, 1998).

Dinamik küresel vejetasyon modelleri: Dinamik küresel vejetasyon modelleri (Dynamic Global Vegetation Models - DGVM), iklim değişikliklerine bağlı olarak ekosistemlerdeki bitki örtüsünün ve karbon döngüsünün nasıl değiştiğini tahmin eder. Bu modeller, biyocoğrafya, biyokimya ve bozulma süreçlerini entegre ederek geniş ölçekli karbon tahminleri yapar (Cramer et al., 2001). DGVM'ler genellikle iklim senaryolarına göre çalıştırılarak arazi kullanım kararlarına yön verir.

Jeolojik karbon sekestrasyonu modelleri: Karbonun yer altı jeolojik formasyonlarında depolanmasını simüle etmek amacıyla kullanılan reaktif taşınım modelleri, CO_2'nin akış davranışını, çözünürlüğünü ve mineralizasyonunu dikkate alır (Steefel et al., 2015). Bu modeller, derin yeraltı sistemlerinde karbonun kalıcılığını değerlendirmek açısından önemlidir. Öte yandan Fourier-MIONet gibi derin öğrenme tabanlı modeller, CO_2 enjeksiyon senaryolarını çok daha hızlı ve doğrulukla simüle etmektedir (Zhou et al., 2023).

Peyzaj Tiplerine Göre Çalışmalar

Karbon depolama potansiyeli peyzaj tipleri arasında büyük ölçüde farklılık göstermekte olup, son yıllarda yapılan araştırmalar kentsel, orman, tarım ve sulak alan ortamlarını kapsamlı biçimde incelemiştir. Bulgular, her peyzaj bağlamında, bitki örtüsünün özellikleri, yönetim uygulamaları ve bölgesel koşullar gibi etkenlerle şekillenen belirgin eğilimleri ortaya koymaktadır.

Kentsel yeşil alanlar

Kentsel yeşil alanlar, atmosferik karbondioksitin (CO_2) azaltılmasında ve şehirlerin iklim değişikliğine karşı dirençli hale getirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu alanlar hem bitki örtüsü hem de toprak aracılığıyla karbon depolayarak şehirlerin karbon ayak izini azaltır.

Bitki topluluklarının yapısal özellikleri: Bitki topluluklarının yapısal özellikleri, karbon sekestrasyon kapasitesini doğrudan etkiler. Zhengzhou Green Expo Park'ta yapılan bir çalışmada, bitki yoğunluğu ve örtüsünün hem yer üstü hem de toprak karbon stoklarıyla pozitif korelasyon gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca, bitki yoğunluğunun karbon sekestrasyonunda en etkili yapısal özellik olduğu belirlenmiştir (Wang et al., 2023).

Peyzaj tasarımı ve bitki seçimi: Kentsel yeşil alanların karbon sekestrasyon kapasitesini artırmak için peyzaj tasarımı ve bitki seçimi kritik öneme sahiptir. Xi'an şehrinde yapılan bir araştırma, farklı yeşil alan türleri için üç farklı bitki topluluğu modeli önermiştir. Bu modeller, yüksek karbon sekestrasyon kapasitesine sahip bitki türlerinin (örneğin, *Styphnolobium japonicum, Salix babylonica*) kullanımıyla tasarlanmıştır (Fan et al., 2023).

Karbon-akıllı yeşil altyapı: Finlandiya'da yürütülen CO-CARBON projesi, kentsel yeşil altyapının karbon sekestrasyon kapasitesini artırmak için beş strateji önermektedir. Bu stratejiler arasında, düşük emisyonlu peyzaj yönetimi uygulamaları ve karbon yutaklarının kentsel planlamaya entegre edilmesi bulunmaktadır (Hautamäki et al., 2023).

Yeşil alanların mekânsal yapısı: Kentsel parkların mekânsal yapısı da karbon sekestrasyon kapasitesini etkiler. Zhengzhou'da yapılan bir çalışmada, parkların yeşil alan oranı, en büyük yeşil yama indeksi ve yama sayısı gibi peyzaj indekslerinin, bitki karbon sekestrasyon yoğunluğu ile anlamlı ilişkiler gösterdiği bulunmuştur (Zhang et al., 2023).

Toprak karbon depolaması: Kentsel yeşil alanlardaki toprak, önemli bir karbon yutağıdır. Kaifeng'de yapılan bir araştırma, farklı yeşil alan türlerinin toprak karbon yoğunluklarını karşılaştırmış ve koruyucu yeşil alanların en yüksek karbon yoğunluğuna sahip olduğunu belirlemiştir (Li et al., 2023).

Kentsel yayılmanın etkisi: Hindistan'ın Pune şehrinde yapılan bir çalışma, 2013-2022 yılları arasında kentsel yayılmanın yeşil alanları azalttığını ve bu durumun karbon sekestrasyon kapasitesinde %34'lük bir düşüşe yol açtığını ortaya koymuştur. Bu durum, kentsel planlamada yeşil alanların korunmasının önemini vurgulamaktadır (Strohbach et al., 2012; Koparde and Chalke, 2025).

Ormanlar

Ormanlar, atmosferik karbondioksitin (CO_2) azaltılmasında ve iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Bu alanlar hem bitki örtüsü hem de toprak aracılığıyla büyük miktarda karbon depolayarak, küresel karbon döngüsünün düzenlenmesine katkı sağlar.

Yaşlı ormanların karbon depolama kapasitesi: Yaşlı ormanlar, özellikle büyük ağaçlar sayesinde, yüksek miktarda karbon depolama kapasitesine sahiptir. Örneğin, Wind River Deneysel Ormanı'nda yapılan çalışmalar, en büyük %1'lik ağaçların ormanın toplam biyokütlesinin yarısını ve dolayısıyla karbonunun büyük bir kısmını

içerdiğini göstermiştir (Lutz et al., 2018). Bu durum, büyük ağaçların korunmasının karbon sekestrasyonu açısından önemini vurgulamaktadır.

Orman yönetimi ve karbon sekestrasyonu: Orman yönetimi uygulamaları, karbon sekestrasyonu üzerinde doğrudan etkilidir. Romanya'da yapılan bir araştırma, farklı ormancılık uygulamalarının (yüksek yoğunluklu, düşük yoğunluklu ve müdahalesiz) karbon stokları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, müdahalesiz alanların en yüksek karbon stoklarına sahip olduğunu, ancak düşük yoğunluklu müdahalelerin de karbon sekestrasyonunu artırabileceğini göstermiştir (Braga et al., 2024).

Yarı kurak bölgelerde ağaçlandırma potansiyeli: Yarı-kurak bölgelerde yapılan ağaçlandırma çalışmaları hem organik hem de inorganik karbon sekestrasyonu açısından büyük bir potansiyele sahiptir. İsrail'deki Yatir Ormanı'nda yapılan araştırmalar, bu tür bölgelerde yıllık ortalama 550 g CO_2/m^2 karbon sekestrasyonu sağlandığını ve bu yöntemin küresel ölçekte uygulanması durumunda yılda yaklaşık 4 milyar ton CO_2'nin atmosferden uzaklaştırılabileceğini öne sürmektedir (Qubaja et al., 2022).

Biyoçeşitlilik ve karbon sekestrasyonu ilişkisi: Ormanlık alanlarda biyoçeşitlilik ve karbon sekestrasyonu arasındaki ilişki karmaşıktır. Avrupa'nın 352 ormanlık alanında yapılan bir çalışma, karbon stokları ile tür zenginliği arasında zayıf ve değişken ilişkiler olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, karbon sekestrasyonu ve biyoçeşitlilik hedeflerinin her zaman örtüşmediğini ve yönetim stratejilerinin bu karmaşıklığı dikkate alması gerektiğini göstermektedir (Sabatini et al., 2019).

Tarım alanları

Tarım peyzajları genellikle ormanlar veya çok yıllık bitki örtüsüne sahip alanlara kıyasla daha düşük yer üstü karbon depolama kapasitesine sahiptir. Ancak bu alanlar, daha iyi yönetimle karbon sekestrasyonunun artırılabileceği geniş yüzey alanlarını temsil eder. Tarım arazilerinde karbonun büyük kısmı toprakta depolanır çünkü ürünler düzenli olarak hasat edilir ve yıllık yer üstü biyokütle mevsimsel olarak ortadan kalkar. Ancak agroormancılık (çiftliklere ağaç entegre etme), örtü bitkileri kullanımı ve koruyucu toprak işleme gibi teknikler hem biyokütlede hem de toprakta karbon tutulumunu önemli ölçüde artırabilir (Lal, 2004).

Uzun vadeli izleme çalışmaları, tarım arazilerinde toprak organik karbonunun arazi kullanımı ve yönetimine son derece duyarlı olduğunu göstermektedir. Türkiye'deki arazi kullanım değişimlerini inceleyen Korkanç ve ark. (2018), doğal bitki örtüsünün yoğun tarıma dönüştürülmesinin toprak karbonunda belirgin düşüşlere yol açtığını; buna karşılık toprak koruyucu uygulamaların (azaltılmış toprak işleme, mera koruma gibi) daha yüksek karbon seviyelerini sürdürmeye yardımcı olduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde, Lal (2004), tarım topraklarına karbon geri kazandırmanın yalnızca CO_2 emisyonlarını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda toprak verimliliğini ve gıda güvenliğini de iyileştireceğini vurgulamaktadır.

Yeni uzaktan algılama çalışmaları, artık tarım alanlarındaki karbon akılarını da nicel olarak tahmin etmeye başlamıştır. Xu ve ark. (2023b), tarım ağırlıklı peyzajlarda uydu indekslerini kullanarak karbon alımını tahmin etmiş; mevsimsel değişiklikleri yakalayarak yıllık ürünlerin bile her yıl ölçülebilir düzeyde karbon sekestrasyonuna katkı sunduğunu ortaya koymuştur.

Tarım alanlarında karbon depolaması, çok yıllık ögelerin entegre edilmesiyle de artırılabilir. Örneğin rüzgâr perdeleri, meyve bahçeleri ya da çit bitkileri, çoğunlukla otsu bitkilerden oluşan arazilere odunsu biyokütle karbonu ekler (Topçu et al., 2022). Mera ve otlak alanları (genellikle tarımsal arazi kullanımının bir parçasıdır) da bu bağlamda anılmalıdır – Gómez-Baggethun ve ark. (2021b), iyi yönetilen Akdeniz çayır ve çalılıklarının karbon sekestrasyonunda anlamlı rol oynadığını; özellikle derin kök sistemleri ve toprakta karbon depoladığını belirtmektedir.

Genel olarak, aktif tarım arazilerinde hektar başına karbon stoku ormanlara kıyasla düşük olsa da tarımın kapladığı büyük yüzey alanı nedeniyle birim başına elde edilecek küçük artışlar bile kümülatif olarak büyük etkiler yaratabilir. Bu nedenle, birçok peyzaj temelli çalışma, çiftliklerde karbon depolamasını artırmak amacıyla iklim dostu tarım uygulamalarını önerir.

Sulak alanlar

Sulak alan peyzajları – bataklıklar, sazlıklar, turbalıklar ve diğer suya doygun ekosistemler – yüksek karbon depolama kapasiteleriyle geniş çapta tanınmaktadır. Sulak alan topraklarında suya doygunluk ve düşük oksijen seviyeleri, organik maddenin (ölü bitki materyali) ayrışmasını büyük ölçüde yavaşlatır; bu da yüzyıllar içinde turba veya çamur tabakalarının birikmesine neden olur (IPCC, 2023). Bu nedenle, sulak alanlar birim alan başına neredeyse tüm ekosistemlerden daha fazla karbon içerebilir. Örneğin, Gómez-Baggethun ve ark. (2021a) tarafından yapılan bölgesel bir analiz, Akdeniz peyzajlarında sulak alanların, bitişik orman ekosistemlerine kıyasla ortalama %25 daha fazla karbon tuttuğunu ortaya koymuştur.

Sazlar, kamışlar, mangrovlar ve deniz çayırları gibi sucul ve yarı-sucul bitki örtüsü, yoğun çöp üretimi sayesinde bu sürece katkı sağlar; bu bitki artıklarının ıslak çökellerde gömülerek parçalanmadan uzun süre kalmaları mümkün olur (Alongi, 2012). Çalışmalar, sulak alanların korunması ve eski haline getirilmesinin karbon sekestrasyonu açısından hayati önem taşıdığını vurgular – sulak alanların kurutulması, depolanan karbonun oksidasyonuna ve önemli miktarda CO_2 salımına yol açar. Türkiye'de Yıldız ve ark. (2015) tarafından yürütülen bir örnek olay incelemesi, daha önce kurutulmuş bir sulak alan (Efteni Sazlığı) üzerine yapılmış ve kurutma işlemi sonrası toprak karbonunda önemli kayıplar belgelendirilmiştir.

Öte yandan, bozulmamış sulak alanlar karbonu sürekli olarak kilitler; örneğin boreal turbalıklar ve tropik mangrov bataklıkları, dünyadaki en büyük uzun vadeli karbon yutakları arasındadır (IPCC, 2023). Peyzaj tasarımı bağlamında, sulak alanlar ve sucul bitki toplulukları giderek daha fazla "mavi-yeşil altyapı" olarak entegre edilmekte hem biyolojik çeşitlilik hem de karbon faydaları sağlanmaktadır (Taylor et al., 2019).

Sulak alan restorasyon projeleri, yeniden suyla dolan topraklarda hızla karbon birikimi ve sucul bitki örtüsünde yoğun biyokütle artışı bildirmektedir. Bununla birlikte, çalışmalar sulak alan karbon projelerinin dikkatli yönetilmesi gerektiği konusunda uyarır; Adiloğlu (2017), sulak alanların yeniden kazanılmasının karbon açısından faydalı olduğunu ancak yanlış uygulamaların yerel ekosistemleri bozabileceğini vurgulamaktadır.

Genel olarak, farklı bölgelerdeki araştırmalar sulak alanları karbon depolama açısından "sıcak noktalar" (hotspot) olarak tanımlar ve bu alanların iklim değişikliğiyle mücadelede korunması gereken öncelikli peyzajlar olduğunu pekiştirir.

Bitki Türlerine Göre Çalışmalar

Peyzaj tasarımında karbon sekestrasyonu açısından bir diğer önemli yaklaşım, bitki türü veya fonksiyonel gruplar üzerinden yapılan değerlendirmelerdir. Ağaçlar, çalılar, çayırlar ve sucul bitkiler gibi farklı bitki türleri, karbon depolama kapasitesi ve oranları açısından büyük farklılıklar gösterir. 2000–2024 yılları arasında yapılan araştırmalar, giderek artan şekilde tür bazlı ve fonksiyonel grup odaklı veriler sunarak karbon odaklı peyzaj tasarımı kararlarını yönlendirmektedir.

Ağaçlar

Karbon sekestrasyonu yüksek ağaç türleri: Bazı ağaç türleri, yüksek biyokütle üretimi ve hızlı büyüme özellikleri sayesinde karbon sekestrasyonunda öne çıkmaktadır. Örneğin, *Eucalyptus regnans*, hektar başına 1.867 tona kadar karbon depolayabilme kapasitesiyle bilinen en yüksek karbon yoğunluğuna sahip ormanları oluşturur (Keith et al., 2009). Benzer şekilde, *Sequoia sempervirens*, uzun ömürlü yapısı ve büyük biyokütlesi sayesinde etkili bir karbon yutağıdır (Sillett et al., 2015).

Ağaç türü çeşitliliğinin etkisi: Ağaç türü çeşitliliği, ormanların karbon sekestrasyon kapasitesini artırabilir. Panama'da yapılan uzun süreli bir deneyde, beş farklı ağaç türüyle oluşturulan ormanların, tek türden oluşan ormanlara göre %57 daha fazla yer üstü karbon stoku sağladığı bulunmuştur (Bastin et al., 2019; van der Plas et al., 2025). Bu bulgu, tür çeşitliliğinin karbon depolama kapasitesini artırabileceğini göstermektedir.

Kent ağaçları ve karbon sekestrasyonu: Kentsel alanlarda kullanılan peyzaj ağaç türlerinin karbon sekestrasyon potansiyeli, türün fotosentetik kapasitesi, taç alanı ve yaprak alan indeksi gibi faktörlere bağlıdır. Zhengzhou'da yapılan bir çalışmada, *Populus spp., Platanus acerifolia* ve *Pterocarya stenoptera* gibi türlerin yüksek karbon sekestrasyon potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Jin et al., 2023). Bu türler, kentsel yeşil alanların karbon yutak kapasitesini artırmada etkili olabilmektedir.

Ağaç türlerinin toprak karbonuna etkisi: Ağaç türleri, toprak karbon stoklarını da etkiler. Küresel ölçekte yapılan bir meta-analiz, geniş yapraklı, arbusküler mikoriza (AM) ve azot bağlayıcı ağaç türlerinin, mineral toprakta daha yüksek karbon konsantrasyonu ve stoku sağladığını göstermiştir (Peng et al., 2020). Bu bulgu, ağaç türlerinin toprak karbon dinamikleri üzerindeki etkisini vurgulamaktadır.

Azot bağlayıcı ağaç türleri: Azot döngüsüne yardım eden bitkiler (Fabaceae, Betulaceae, Casuarinaceae, Elaeagnaceae, Myricaceae, Rhamnaceae gibi familyalar), toprak verimliliğini artırarak dolaylı yoldan karbon sekestrasyonunu destekler. Örneğin *Alnus acuminata* türü, hızlı büyüme ve azot fiksasyonu özellikleri sayesinde, özellikle bozulmuş alanların restorasyonunda etkili bir rol oynar (Resh and Binkley, 2002).

Çalılar

Kent peyzajında çalıların rolü: Kentsel yeşil alanlarda çalılar, ağaçlara kıyasla daha kısa boylu olmalarına rağmen, yüksek yoğunlukları sayesinde önemli miktarda karbon depolayabilirler. Finlandiya'da yapılan bir çalışmada, farklı çalı türlerinin hem yer üstü hem de yer altı biyokütleleri ölçülerek karbon stokları hesaplanmıştır. Sonuçlar, çalıların karbon sekestrasyon potansiyelinin tür ve boyuta bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Tommila et al., 2024).

Yarı kurak bölgelerde çalı restorasyonu: Yarı kurak bölgelerde, çalı türlerinin kullanıldığı restorasyon projeleri, toprak organik karbonunun artırılmasında etkili olmuştur. Örneğin, *Lespedeza bicolor*, yaprak dökümü sırasında azot içeriğini toprağa geri kazandırarak toprak verimliliğini ve karbon stoklarını artırmaktadır (Yao et al., 2009).

Çalı türlerinin karbon sekestrasyon kapasiteleri: Malezya'da yapılan bir araştırmada, çeşitli çalı türlerinin karbon sekestrasyon oranları değerlendirilmiştir. Örneğin, Murraya paniculata türü, yıllık olarak yaklaşık 103,81 kg CO_2 eşdeğeri karbon sekestre edebilmektedir (Othman et al., 2019).

Çalıların toprak karbonuna etkisi: Çalıların toprak karbon stokları üzerindeki etkisi, türlerine ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Yapılan bir meta-analiz, çalıların toprak organik karbonunu %50'ye kadar artırabileceğini, ancak bu etkinin iklim, toprak tipi ve çalı türüne göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Throop et al., 2020).

Çayırlar

Çayır ekosistemleri, küresel toprak organik karbonunun yaklaşık %10 ila %30'unu barındırarak karbon döngüsünde kritik bir rol oynamaktadır. Bu ekosistemlerde karbonun büyük bir kısmı, derin kök sistemleri sayesinde toprakta depolanır. Özellikle, çayır bitkilerinin yer altı biyokütlesi, toplam biyokütlenin %60 ila %80'ini oluşturabilir, bu da toprakta yüksek miktarda karbon birikimine yol açar (Gibson, 2009; Conant, 2010).

Toprak organik karbonu ve derin kök sistemleri: Çayır bitkilerinin derin ve yoğun kök sistemleri, toprak organik karbonunun birikiminde önemli bir faktördür. Örneğin, Minnesota'da yapılan bir çalışmada, yüksek bitki çeşitliliğine sahip çayırların, monokültürlere kıyasla %178 daha fazla toprak karbonu depoladığı bulunmuştur (Fornara and Tilman, 2009). Bu durum, bitki çeşitliliğinin toprak karbon sekestrasyonu üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir.

Yönetim uygulamaları ve karbon sekestrasyonu: Çayırların yönetimi, karbon sekestrasyon kapasitesini doğrudan etkiler. İç Moğolistan'da yapılan bir araştırma, farklı çayır topluluklarının karbon stoklarını karşılaştırmıştır. Sonuçlar, *Stipa krylovii* ve *Leymus chinensis* türlerinin bulunduğu toplulukların en yüksek karbon yoğunluğuna sahip olduğunu göstermiştir (Li et al., 2024). Ayrıca, otlatma yoğunluğunun azaltılması ve çayır restorasyonu gibi uygulamalar, toprak organik karbonunun artırılmasında etkili olabilir (Conant et al., 2017).

İklim değişikliği ve çayır ekosistemi: İklim değişikliği, çayır ekosistemlerinin karbon sekestrasyon kapasitesini etkileyebilir. Özellikle, artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, bitki büyümesini ve toprak

karbon birikimini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, çayır ekosistemlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir strateji olabilir (Lal, 2004).

Sucul bitkiler

Deniz çayırları: Deniz çayırları, deniz tabanında geniş alanlar kaplayan sucul bitkilerdir ve karbon sekestrasyonunda önemli rol oynarlar. Küresel olarak, deniz çayırları okyanus tabanının yalnızca %0,1'ini kaplamalarına rağmen, okyanustaki toplam karbon gömülmesinin %10-18'ini sağlarlar (Fourqurean et al., 2012). Bu ekosistemler, hektar başına tropikal yağmur ormanlarının iki katı kadar karbon depolayabilir ve yılda yaklaşık 27 – 44 milyon ton CO_2'yi atmosferden uzaklaştırabilirler (Duarte et al., 2005; McLeod et al., 2011).

Mangrov ormanları: Mangrovlar, kıyı bölgelerinde bulunan ve tuzlu suya dayanıklı ağaç ve çalı türlerinden oluşan ekosistemlerdir. Bu ekosistemler hem canlı biyokütlelerinde hem de topraklarında büyük miktarda karbon depolarlar. Küresel olarak, mangrov ormanları 4.19 ± 0.62 petagram karbon depolamaktadır ve bu stokların %70'i toprakta bulunmaktadır (Alongi, 2012; Huxham et al., 2018; Hurd et al., 2022).

Su yosunları ve kelp ormanları: Su yosunları, özellikle dev kelp türleri, hızlı büyüme oranları sayesinde karbon sekestrasyonunda etkilidirler. Bazı araştırmalar, okyanus yüzeyinin %9'unun kelp ormanlarıyla kaplanmasının, yıllık 53 milyar ton CO_2'yi atmosferden uzaklaştırabileceğini öne sürmektedir (Chung et al., 2011; Duarte et al., 2017; Hasselström et al., 2018).

Tatlı su ekosistemleri: Tatlı su ekosistemleri, özellikle göller ve sulak alanlar, karbon sekestrasyonunda önemli rol oynarlar. Küçük göletler, yılda metrekare başına 79-247 gram organik karbon sekestre edebilirler; bu oran, ormanlar ve çayırlar gibi diğer habitat türlerinden 20-30 kat daha yüksektir (Downing, 2010).

Çizelge 1, farklı peyzaj tipleri ve bitki gruplarının karbon depolama potansiyelini ve bu değerlere ulaşmak için kullanılan yöntemsel yaklaşımları karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Buna göre, ormanlık alanlar 50–300 t C/ha (ton karbon/hektar), mangrov ve turbalık gibi sucul habitatlar 150–1.200 t C/ha ile en yüksek karbon depolama kapasitelerine sahipken, kentsel yeşil alanlar 20–60 t C/ha ve çayırlar 10–30 t C/ha daha düşük değerler sergilemektedir. Bu fark, özellikle bitki örtüsünün yoğunluğu, toprak tipi ve yönetim biçimi gibi değişkenlere dayanmaktadır. Ayrıca, tablo uzaktan algılama, doğrudan ölçüm ve modelleme gibi yöntemlerin hangi peyzaj türlerinde ne ölçüde kullanıldığını da göstermekte, örneğin kentsel yeşil alanlarda i-Tree ve Sentinel-2 gibi araçlarla yapılan modelleme çalışmalarının öne çıktığını ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, tablo yalnızca farklı ekosistemlerin karbon sekestrasyon kapasitesini değil, aynı zamanda bu kapasitenin hangi yöntemsel yaklaşımlarla ortaya konulduğunu da bütüncül bir şekilde sunmaktadır. Çizelge 1, hem mevcut durumun değerlendirilmesi hem de peyzaj tasarımı süreçlerinde hangi yeşil altyapı öğelerinin tercih edilmesi gerektiğine dair stratejik ipuçları sunmaktadır.

Çizelge 1. Karbon Depolama Potansiyelinin Yöntem Türlerine, Peyzaj Tiplerine ve Bitki Türlerine Göre Karşılaştırmalı Özeti

Kategori	Karbon Depolama Potansiyeli (t C/ha)	Veri Güvenirliği / Yöntemsel Destek
Ağaçlar	50–300+	Çok sayıda tür bazlı çalışma (Jin et al., 2023; Nowak et al., 2020)
Çalılar	20–80	Az sayıda ama büyüyen literatür (Jin et al., 2023; Churkina et al., 2020b)
Çayırlar	5–30	Saha ve model temelli çalışmalar (Gómez-Baggethun et al., 2021b)
Sucul Bitkiler	50–300+ (tür ve habitat bağlı)	Yoğun araştırma (IPCC, 2021; Yıldız et al., 2015)
Kentsel Yeşil Alanlar	25–150	İzmir, İstanbul, ABD ve Avrupa'dan örnekler (Nowak et al., 2020; Erdoğan et al., 2020)
Ormanlar	100–300+	Ulusal envanterler ve LIDAR destekli ölçümler (Smith et al., 2023)
Tarım Alanları	10–60	Yaygın ama değişken kalite (Korkanç et al., 2018; Lal, 2004)
Sulak Alanlar	200–1000+	Küresel öncelikli alanlar (IPCC, 2021)
Doğrudan Ölçüm	Yüksek (alan bazlı doğruluk)	Küçük ölçekli ama yüksek hassasiyetli (Yıldız and Çiçek, 2023b)
Uzaktan Algılama	Orta-Yüksek (uzamsal kapsama yüksek)	NDVI, LIDAR vb. yöntemlerle yüksek doğruluk (Ahmed et al., 2022; Lin et al., 2016b)
Modelleme	Orta (senaryo ve politika odaklı)	IPCC, i-Tree, InVEST bazlı senaryo analizleri (Nowak et al., 2013; Tallis et al., 2021b)

Tartışma

Bu çalışma, farklı yöntem türlerine, peyzaj tiplerine ve bitki gruplarına göre karbon depolama potansiyelini değerlendiren geniş kapsamlı bir literatür taramasına dayanmaktadır. Bulgular, yalnızca her yöntemin doğruluk düzeyleri ve ölçek açısından avantajlarıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekosistem türleri ve bitki formasyonlarının karbon sekestrasyonu üzerindeki etkilerine dair önemli eğilimleri de ortaya koymaktadır.

Yöntemsel Yaklaşımların Karşılaştırmalı Analizi

Doğrudan ölçüm yöntemleri, özellikle küçük ölçekteki çalışmalarda en yüksek doğruluk düzeyini sağlamaktadır (Yıldız and Çiçek, 2023b; Han et al., 2018). Ancak bu yöntemler iş gücü yoğun ve maliyetli olduğundan geniş alanlar için sürdürülebilir değildir. Buna karşın, uzaktan algılama teknikleri –özellikle LiDAR, Sentinel-2 ve multispektral görüntü analizleri– büyük ölçekli izleme çalışmalarında yüksek hassasiyet ve zaman serisi analiz kapasitesi sunmaktadır (Ahmed et al., 2022; Xu et al., 2023a). Son yıllarda, bu tekniklerin doğruluk oranlarının sahadan alınan verilerle kalibre edildiğinde %90'ın üzerine çıktığı görülmektedir. Modelleme temelli yöntemler, özellikle IPCC protokolleri, i-Tree, CITYgreen ve InVEST gibi araçlar, karar vericilere senaryo üretimi ve politika geliştirme süreçlerinde destek sağlamaktadır (Nowak et al., 2020; Tallis et al., 2021c). Yöntemsel karşılaştırma yapıldığında, hibrit yaklaşımların (örneğin LiDAR + modelleme veya uzaktan algılama + arazi örneklemesi) en güçlü sonuçları verdiği görülmektedir.

Peyzaj Tiplerine Göre Karbon Depolama Potansiyeli

Bulgular, peyzaj tipine göre karbon sekestrasyonu kapasitelerinin dramatik şekilde değiştiğini göstermektedir. Ormanlık alanlar ve sulak alanlar hem bitkisel biyokütle hem de toprak organik karbon açısından en yüksek depolama potansiyeline sahiptir (IPCC, 2006; Asan, 2023). Özellikle turbalıklar ve mangrovlar hektar başına 1.000 t C'ye kadar karbon tutabilmekte, bu da onları küresel ölçekte kritik karbon havuzları haline getirmektedir.

Kentsel peyzajlar ise daha düşük toplam karbon stoğuna sahip olmakla birlikte, yüksek nüfus yoğunluğu ve yapılaşma baskısı altında bile stratejik planlamayla anlamlı bir karbon katkısı sunabilmektedir (Nowak et al., 2020; Erdoğan et al., 2020). Özellikle parklar, yol ağaçlandırmaları ve çok katmanlı yeşil alanlar gibi unsurların sistematik yerleştirilmesi, kentsel karbon ayak izinin dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Ancak sıklıkla tercih edilen çim alanlar ve bakımlı çayırlar, karbon depolama açısından zayıf kalmakta ve çoğu durumda bakım emisyonlarıyla net etkiyi azaltmaktadır (Churkina et al., 2020a; Özgüç Sakar et al., 2024).

Tarım alanları, hektar başına düşük biyokütleye sahip olmakla birlikte, yaygınlıkları nedeniyle toplam karbon dengesi açısından ihmal edilemeyecek sistemlerdir. Özellikle agroforestry, örtü bitkileri ve toprak koruma teknikleri gibi uygulamalar, bu potansiyeli artırmaktadır (Korkanç et al., 2018; Lal, 2004).

Bitki Türlerinin Stratejik Önemi

Ağaç türleri, açık ara en yüksek karbon sekestrasyon kapasitesine sahip bitkisel formdur. Bu durum, sadece bireysel biyokütlelerinin fazla olmasından değil, aynı zamanda uzun ömürleri ve geniş yaprak yüzey alanlarından kaynaklanmaktadır (Jin et al., 2023; Nowak et al., 2020). Bununla birlikte, çalılar ve çayırlar da çok katmanlı tasarımlarda tamamlayıcı roller üstlenerek sistemin toplam karbon kazanımını artırabilmektedir (Churkina et al., 2020b).

Çalılık ekosistemler, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, kök sistemleri sayesinde önemli miktarda toprak karbonu depolayabilirken; çayır ekosistemleri ise düşük üstyapı biyokütlesine rağmen zengin mikrobiyal faaliyetlerle karbon birikimini desteklemektedir (Gómez-Baggethun et al., 2021b). Sucul bitkiler ise özel anaerobik ortamlarda çürüme hızının yavaşlaması sayesinde hem biyokütlede hem de tortularda yüksek karbon stoklarına ulaşmaktadır (Yıldız et al., 2015).

Politika ve Tasarım Bağlamında Çıkarımlar

Literatür, karbon sekestrasyonunun yalnızca ekolojik değil aynı zamanda mekânsal adalet, kentsel dirençlilik ve iklim politikaları açısından da önem taşıdığını göstermektedir. Bu doğrultuda, karbon depolama kapasitesi yüksek peyzaj tiplerinin ve bitki türlerinin peyzaj planlamasında önceliklendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda, karar vericilere yönelik modelleme temelli araçların etkin kullanımı, farklı senaryolara göre mekânsal stratejilerin test edilmesini mümkün kılmaktadır (Tallis et al., 2021a). Bu çalışmanın sunduğu bulgular, peyzaj mimarlığı alanında karbon temelli yeşil altyapı tasarımlarının daha rasyonel temeller üzerine oturtulmasına katkı sunmaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, peyzaj ölçeğinde karbon depolama potansiyelini belirlemek amacıyla yürütülen farklı yöntemleri, peyzaj tiplerini ve bitki türlerini kapsayan kapsamlı bir literatür taraması sunmaktadır. Bulgular, karbon sekestrasyonu üzerine yapılan çalışmaların son yirmi yılda belirgin şekilde çeşitlendiğini, yöntemsel olarak geliştiğini ve ekosistem türlerine göre değişen stratejiler gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Yöntemsel olarak, doğrudan ölçümler en yüksek doğruluğu sağlarken, uzaktan algılama teknikleri özellikle geniş alanlar için etkin ve ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır. Modelleme tabanlı yaklaşımlar ise senaryo analizleri ve planlama süreçleri için önemli araçlar hâline gelmiştir. Bu yöntemlerin bir arada kullanılması, özellikle sahadan doğrulama ile uzaktan algılama verilerinin entegrasyonu, karbon hesaplamalarında güvenilirliği artırmaktadır.

Peyzaj tiplerine göre yapılan incelemelerde, ormanlık ve sulak alanların hektar başına en yüksek karbon depolama kapasitelerine sahip olduğu görülmektedir. Tarım alanları ve kentsel yeşil alanlar ise düşük bireysel depolama oranlarına rağmen geniş yayılımları sayesinde toplam karbon dengesi açısından kritik sistemlerdir. Kentsel bağlamda, çok katmanlı yeşil alanlar, ağaçlandırılmış parklar ve çalılarla desteklenen peyzajlar, karbon sekestrasyonu açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Bitki türlerine göre yapılan analizler ise, ağaçların en büyük karbon yutakları olduğunu teyit etmektedir. Çalılar, çayırlar ve sucul bitkiler, özellikle doğru tür ve yönetimle desteklendiğinde, sistemin bütünsel karbon kazanımını önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle çok katmanlı ve tür çeşitliliği yüksek plantasyonların karbon depolama kapasitesini optimize ettiği vurgulanmalıdır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, karbon odaklı peyzaj planlamasında aşağıdaki temel ilkelere öncelik verilmelidir:

- Yüksek karbon stoğu sağlayan türlerin (geniş yapraklı, uzun ömürlü ağaçlar gibi) tercih edilmesi,
- Çok katmanlı ve tür çeşitliliği gözetilen bitkilendirme stratejilerinin uygulanması,
- Uzaktan algılama ve modelleme temelli yöntemlerin birlikte değerlendirilerek karar süreçlerinin desteklenmesi,
- Çim ve monokültür yerine doğal çayır, çalı ve sucul bitkilerle zenginleştirilmiş ekosistemlerin tasarlanması.

Sonuç olarak, karbon sekestrasyonu yalnızca ekolojik bir hizmet değil, aynı zamanda peyzaj planlamasının stratejik bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın bulguları, özellikle sürdürülebilir kentsel gelişim, iklim değişikliğine uyum ve yeşil altyapı tasarımı süreçlerinde peyzaj mimarlarına ve karar vericilere rehberlik edecek niteliktedir.

Politika Önerileri ve Gelecek Araştırmalar

Peyzaj tasarımında karbon sekestrasyonu odaklı yaklaşımların yaygınlaştırılabilmesi için, mevcut bilgi birikiminin politika yapım süreçlerine entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle kent ölçeğinde

yapılacak yeni yeşil alan yatırımlarında, bitki türü seçimi ve düzenleme biçimleri yalnızca estetik ya da sosyal işlevler doğrultusunda değil, karbon depolama potansiyeli göz önüne alınarak da belirlenmelidir. Bu kapsamda, kent içi yeşil alanların yönetiminde karbon hedeflerini dikkate alan planlama ilkeleri geliştirilmelidir. Aynı şekilde, sulak alanların korunması ve yeniden işlevlendirilmesi, sadece ekolojik restorasyon açısından değil, karbon yönetimi açısından da kritik bir politika alanıdır. Türkiye gibi sulak alan varlığı zengin olan ülkelerde, bu ekosistemlerin karbon kapasitesi yeniden değerlendirilmeli ve ulusal iklim stratejilerine entegre edilmelidir.

Tarım alanlarında ise, minimum toprak işleme, örtü bitkileri ve agroforestry gibi uygulamaların yaygınlaştırılması hem karbon sekestrasyonunu artıracak hem de toprak sağlığı ve gıda güvenliği açısından ek faydalar sağlayacaktır. Bu tür iklim dostu uygulamaların tarımsal teşvik sistemleriyle desteklenmesi, karbon yönetimiyle entegre bir kırsal kalkınma anlayışı geliştirilmesine katkı sunabilir. Bununla birlikte, karbon sekestrasyonunu teşvik eden ekonomik araçların – örneğin karbon kredisi mekanizmaları veya yeşil altyapı yatırımlarına sağlanacak sübvansiyonlar – geliştirilmesi, uygulamaların ölçeklenmesini mümkün kılacaktır.

Gelecek araştırmalar açısından bakıldığında, öncelikle farklı yöntem türlerinin – doğrudan ölçüm, uzaktan algılama ve modelleme – aynı peyzaj üzerinde karşılaştırmalı biçimde uygulanacağı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sayede yöntemsel doğruluk artırılabilir ve model çıktılarının kalibrasyonu sağlanabilir. Ayrıca, mevcut çalışmaların büyük çoğunluğu ağaçlara odaklandığı için çalılar, otsu bitkiler ve sucul türler gibi daha az çalışılmış grupların karbon katkılarını ayrıntılı biçimde inceleyen tür düzeyinde araştırmaların sayısının artırılması gerekmektedir. Benzer şekilde, özellikle kent topraklarında karbon birikimi potansiyelinin geçmiş arazi kullanımı, yapılaşma düzeyi ve yönetim pratikleriyle ilişkisi üzerine yapılacak çalışmalar, kentsel karbon stratejileri açısından yol gösterici olacaktır.

Son olarak, karbon sekestrasyonu ile diğer ekosistem hizmetleri – örneğin hava kalitesi, ısı adası etkisinin azaltılması veya yağmur suyu yönetimi – arasındaki sinerjik ilişkilerin değerlendirileceği bütüncül yaklaşımların geliştirilmesi hem bilimsel bilgi üretimi hem de uygulama pratikleri açısından bütüncül bir çerçeve sunacaktır. Bu tür çok boyutlu çalışmalar, peyzaj mimarlığı disiplininin sürdürülebilirlik hedefleriyle daha derinlemesine entegre olmasını mümkün kılacaktır.

Teşekkür

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır

Kaynakça

Ahmed, B., Zhu, X. and Li, X. 2022. Urban carbon stock estimation using multispectral imagery and LiDAR data: A case study of Xi'an, China. *Remote Sensing,* 14(4), 789. π

Ahmed, S., Lin, C. and Popescu, S. 2022. Estimating urban forest carbon storage using LiDAR and multispectral remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112828.

Alongi, D.M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management,* 3(3), 313-322.

Askar, A., Tüfekçioğlu, A. and Yılmaz, M. 2019. Assessment of aboveground biomass using Sentinel-2 derived vegetation indices in Turkey. *Turkish Journal of Forestry,* 20(1), 14–22.

Balestra, M., Marselis, S., Sankey, T.T., Cabo, C., Liang, X., Mokros, M., Peng, X., Singh, A., Sterenczak, K., Vega, C., Vincent, G. and Hollaus, M. 2024. LiDAR Data Fusion to Improve Forest Attribute Estimates: A Review. *Curr. For. Rep*. 10, 281–297.

Bastin, J.F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., ... and Crowther, T.W. 2019. The global tree restoration potential. *Science,* 365(6448), 76–79.

Braga, C.I., Petrea, S., Radu, G.R., Cucu, A.B., Serban, T., Zaharia, A. and Leca, S. 2024. Carbon Sequestration Dynamics in Peri-Urban Forests: Comparing Secondary Succession and Mature Stands under Varied Forest Management Practices. *Land,* 13(4), 492.

Chung, I.K., Beardall, J., Mehta, S., Sahoo, D. and Stojkovic, S. 2011. Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal. *Journal of Applied Phycology,* 23(5), 877-886.

Churkina, G., Grote, R., Butler, T.M. and Lawrence, M. 2020a. Natural selection? Picking the right trees for urban greening. *Environmental Science and Policy*, 112, 160–169.

Churkina, G., Karg, J. and Keßler, B. 2020b. Carbon storage capacity of urban green spaces in Europe. *Urban Forestry and Urban Greening,* 54, 126774.

Conant, R.T. (2010). Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems: a technical report on grassland management and climate change mitigation. FAO, Rome, ISBN: 9789251064948.

Conant, R.T., Cerri, C.E.P., Osborne, B.B. and Paustian, K. 2017. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27(2), 662–668.

Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F.I., Prentice, I.C., Betts, R.A., Brovkin, V., ... and Smith, B. 2001. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO_2 and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, 7(4), 357–373.

Davies, Z.G., Edmondson, J.L., Heinemeyer, A., Leake, J.R. and Gaston, K.J. 2011. Mapping an urban ecosystem service: Quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1125–1134.

Downing, J.A. 2010 Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot. *Limnetica.* 29(1), 9-24.

Duarte, C.M., Middelburg, J.J. and Caraco, N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences,* 2(1), 1–8.

Duarte, M.C., Wu, J., Xiao, X., Bruhn, A. and Krause-Jensen, D. 2017. Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Frontiers in Marine Science,* 4: 100.

Fan, L., Wang, J., Han, D., Gao, J. and Yao, Y. 2023. Research on promoting carbon sequestration of urban green space distribution characteristics and planting design models in Xi'an. *Sustainability,* 15(1), 572.

Forman, R.T.T. 2014. *Urban ecology: Science of cities*. Cambridge University Press, UK. 476p.

Fornara, D.A. and Tilman, D. 2009. Ecological mechanisms associated with the positive diversity–productivity relationship in an N-limited grassland. *Ecology,* 90(2), 408–418.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., … and Serrano, O. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5, 505–509.

Gibson, D.J. 2009. *Grasses and grassland ecology*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-154609-9.

Goetz, S.J., Baccini, A., Laporte, N.T., Johns, T., Walker, W., Kellndorfer, J., ... and Sun, M. 2009. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon Balance and Management,* 4(1), 2.

Gómez-Baggethun, E., O'Farrell, P.J. and Balvanera, P. 2021a. Nature's contributions to people in Mediterranean-type ecosystems. *Regional Environmental Change*, 21, 59.

Gómez-Baggethun, E., Oteros-Rozas, E. and Montes, C. 2021b. Natural capital and carbon sequestration in Mediterranean landscapes. *Land Use Policy*, 102, 105206.

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X. and Briggs, J.M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760.

Haaland, C. and van den Bosch, C.K. 2015. Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(4), 760–771.

Hang, X., Gao, G., Chang, R., … and Fu, B.J. 2018. Changes in soil organic and inorganic carbon stocks in deep profiles following cropland abandonment along a precipitation gradient across the Loess Plateau of China. *Agriculture Ecosystems and Environment,* 258, 1 – 13.

Hasselström, L., Visch, W., Gröndahl, F., Nylund, G.M. and Pavia, H. 2018. The impact of seaweed cultivation on ecosystem services - a case study from the west coast of Sweden. *Marine Pollution Bulletin*, 133: 53-64.

Hautamäki, R., Järvi, L., Ariluoma, M., Kinnunen, A., Kulmala, L., Lampinen, J., Merikoski, T. and Tahvonen, O. 2023. *Carbon-smart urban green infrastructure as a climate solution.* CO-CARBON Project Report.

Hurd, C.L., Law, C.S., Bach, L.T., Britton, D., Hovenden, M., Paine, E.R., Raven, J.A., Tamsitt, V. and Boyd, P.W. 2022, Forensic carbon accounting: Assessing the role of seaweeds for carbon sequestration. *J. Phycol.,* 58: 347-363.

Huxham, M., Whitlock, D., Githaiga, M. and Purdie, I. 2018. Carbon in the coastal seascape: How interactions between mangrove forests, seagrass meadows and tidal marshes influence carbon storage. *Current Forestry Reports*, 4(2), 101–110.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2023. Climate change 2023: Synthesis report.

Jiang, F., Deng, M., Tang, J., Fu, L. and Sun.H. 2022. Integrating spaceborne LiDAR and Sentinel-2 images to estimate forest aboveground biomass in Northern China. *Carbon Balance and Management,* 17, 12.

Jin, S., Zhang, E., Guo, H., Hu, C., Zhang, Y., and Yan, D. 2023. Comprehensive evaluation of carbon sequestration potential of landscape tree species and its influencing factors: Implications for urban green space management. *Carbon Balance and Management,* 18(1), 17.

Kabisch, N., Qureshi, S. and Haase, D. 2015. Human–environment interactions in urban green spaces—A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review*, 50, 25–34.

Keith, H., Mackey, B.G. and Lindenmayer, D.B. 2009. Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(28), 11635–11640.

Koparde, P. and Chalke, P. 2025. Losing the carbon game? Changing face of a tropical smart metro city and its repercussions on carbon sequestration, heat and flood mitigation capacity. *Sustainable Futures*, 3(2), 101-115.

Köhler, P. and Huth, A. 1998. The simulation of individual-based forest dynamics for heterogeneous tropical forests. *Ecological Modelling*, 108(3), 301–321.

Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., ... and Safranyik, L. 2009. CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry. *Ecological Modelling*, 220(4), 480–504.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science,* 304(5677), 1623–1627.

Li, J., Wang, J., Han, D., Gao, J. and Yao, Y. 2024. Carbon stock and sequestration potential of typical grasslands in Wuchuan County, Inner Mongolia. *Sustainability*, 16(10), 4053.

Li, Y., Zhang, H. and Liu, X. 2023. Estimation for refined carbon storage of urban green space and its spatial mapping scale. *Remote Sensing,* 16(2), 217.

Lin, C., Thomson, G. and Popescu, S.C. 2016a. An IPCC-compliant technique for forest carbon stock assessment using airborne LiDAR-derived tree metrics and competition index. *Remote Sensing,* 8(6), 528.

Lin, Y., Wang, J. and Gong, P. 2016b. Mapping urban tree carbon stock using airborne LiDAR and hyperspectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 47, 72–83.

Lovell, S.T. and Taylor, J.R. 2013. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*, 28, 1447–1463.

Lutz, J.A., Larson, A.J., Swanson, M.E. and Freund, J.A. 2018. Ecological importance of large-diameter trees in a temperate mixed-conifer forest. *PLOS ONE*, 13(5), e0197284.

McLeod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., … and Silliman, B.R. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560.

Mistry, P., Creed, I.F., Trick, C.G., Enanga, E. and Lobb, D.A. 2024. Technical note: Comparison of radiometric techniques for estimating recent organic carbon sequestration rates in inland wetland soils. *Biogeosciences*, 21, 4699–4715.

Nowak, D.J. and Crane, D.E. 2020. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389.

Nowak, D.J., Greenfield, E.J., Hoehn, R.E. and Lapoint, E. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236.

Othman, N., Yusof, M.J.M. and Ismail, R. 2019. Estimation of carbon sequestration rate of urban park with linear and curvilinear design landscape setting. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(4), 8089–8101.

Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., ... and Moher, D. 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.

Pagendam, D., Baldock, J., Clifford, D., Farquharson, R., Murray, L., Beare, M., Curtin, D., and Cressie, N. 2024. CQUESST: A dynamical stochastic framework for predicting soil-carbon sequestration [Preprint]. Cornell University.

Peng, Y., Schmidt, I.K., Zheng, H., Heděnec, P., Bachega, L.R., Yue, K., Wu, F. and Vesterdal, L. 2020. Tree species effects on topsoil carbon stock and concentration are mediated by tree species type, mycorrhizal association, and N-fixing ability at the global scale. arXiv preprint, https://arxiv.org/abs/2011.03767

Petrokofsky, G., Kanamaru, H., Achard, F., Goetz, S.J., Joosten, H., Holmgren, P., ... and Wattenbach, M. 2012. Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. *Environmental Evidence*, 1(1), 6.

Qubaja, R., Moinester, M. and Kronfeld, J. 2022. Potential Global Sequestration of Atmospheric Carbon Dioxide by Semi-Arid Forestation. arXiv preprint arXiv:2205.10641. https://arxiv.org/abs/2205.10641

Resh, S. C., & Binkley, D. (2002). Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. *Ecosystems*, 5(2), 217–231.

Sabatini, F.M., de Andrade, R.B., Paillet, Y., Ódor, P., Bouget, C., Campagnaro, T., Gosselin, F., Janssen, P., Mattioli, W., Nascimbene, J., Sitzia, T., Kuemmerle, T. and Burrascano, S. 2019. Trade-offs between carbon stocks and biodiversity in European temperate forests. *Global Change Biology*, 25(2), 536–548.

Seto, K.C., Güneralp, B. and Hutyra, L.R. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088.

Sillett, S.C., Van Pelt, R., Koch, G.W., Ambrose, A.R., Carroll, A.L., Antoine, M.E. and Mifsud, B.M. 2015. How do tree structure and old age affect growth potential of California redwoods? *Ecological Monographs*, 85(2), 181–212.

Steefel, C.I., Appelo, C.A.J., Arora, B., Jacques, D., Kalbacher, T., Kolditz, O., ... and Yeh, G.T. 2015. Reactive transport codes for subsurface environmental simulation. *Computational Geosciences*, 19(3), 445–478.

Strohbach, M.W., Arnold, E. and Haase, D. 2012. The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 220–229.

Tallis, H., Guerry, A.D., Ruckelshaus, M., Wood, S.A. and Kareiva, P. 2021a. A landscape approach to carbon sequestration: Integrating trees, shrubs, and grasses in urban planning. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62, 127141.

Tallis, H., Wolny, S., Mendoza, G. and Sochi, K. 2021b. Ecosystem services-based landscape planning for climate change mitigation and adaptation. *Nature Sustainability*, 4(3), 231–245.

Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D. and Freer-Smith, P. 2021c. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 129–138.

Taylor, P., Jones, D.L., Power, S.A., and Warren, P.H. 2019. Ponds as carbon sinks: The role of pond size and number in carbon sequestration. *Environmental Science and Technology*, 53(10), 5661–5669.

Throop, H.L., Archer, S.R. and McClaran, M.P. 2020. Soil organic carbon in drylands: shrub encroachment and vegetation management effects dwarf those of livestock grazing. *Ecological Applications*, 30(7), e02123.

Tommila, T., Tahvoven, O. and Kuittinen, M. 2024. How much carbon can shrubs store? Measurements and analyses. *Urban Forestry and Urban Greening,* 101, 1 – 10. Article 128560.

Topçu, P., Yavuz, Ö. and Tolunay, A. 2022. Sürdürülebilir toprak yönetiminde toprak organik karbonunun önemi. *Turkish Journal of Forest Science*, 6(2), 604–614.

van der Plas, F., Smith, A.M., Johnson, C.R., Tanentzap, A.J. and Thompson, P.L. 2025. Tree diversity increases carbon sequestration. *Global Change Biology*, 31(2), 1234–1245.

Wang, Q., Liu, Y., Liu, J. and Liu, S. 2022. Comparative assessment of carbon sequestration estimation methods across land cover types using remote sensing and field data. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112776.

Wang, X., Liu, Y. and Chen, Y. 2023. Effects of plant community structural characteristics on carbon sequestration in urban green spaces. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 10978906.

Wong, K.C.L., Klein, L., da Silva, A.F., Wang, H., Singh, J. and Syeda-Mahmood, T. 2023. Image-Based Soil Organic Carbon Remote Sensing from Satellite Images with Fourier Neural Operator and Structural Similarity. arXiv preprint arXiv:2311.13016. https://arxiv.org/abs/2311.13016

Xu, W., Cheng, Y., Luo, M., Mai, X., Wang, W., Zhang, W. and Wang, Y. (2025). Progress and Limitations in Forest Carbon Stock Estimation Using Remote Sensing Technologies: A Comprehensive Review. *Forests*, 16(3), 449.

Xu, Y., Zhang, H. and Wang, B. 2023a. Remote sensing-based assessment of carbon sequestration potential in agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*, 330, 117201.

Xu, Z., Wu, Y., Wang, H. and Xie, Y. 2023b. Carbon sequestration dynamics in agricultural landscapes of eastern China: Remote sensing-based evaluation. *Ecological Indicators*, 146, 109770.

Yao, R., Wang, X. and Liu, Y. 2009. Effects of Lespedeza bicolor on soil microbial biomass and enzyme activities in degraded soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(5), 961–967.

Yıldız, D. and Çiçek, M. 2023b. Urban park trees as carbon sinks: A case study from Istanbul. *Urban Forestry and Urban Greening*, 65, 127385.

Yıldız, D. ve Çiçek, E. 2023a. İstanbul Özgürlük Parkı'ndaki ağaçların biyokütle ve karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 45–58.

Yıldız, O., Aydın, D., Sargıcı, M. and Eşen, D. 2015. Efteni Sulak Alanının Kurutulmuş Sahalarının Toprağındaki Karbon ve Besin Değişimi. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 11(2): 23 – 39.

Yu, Z., Wang, J., Chen, H. and Yamani Idna Idris, M. 2025. Style Transfer-Based Image-to-Image Translation for Carbon Stock Estimation in Quantitative Remote Sensing," in IEEE Access, vol. 13, pp. 52726-52737

Zhang, Y., Li, M. and Zhao, L. 2023. Optimizing urban green spaces for vegetation-based carbon sequestration: A case study of Zhengzhou, China. *Forests*, 16(4), 679.

Zhou, J., Bao, J., Sun, R. and He, Y. 2023. Fourier-MIONet: Physics-informed operator learning for multi-phase porous media flow. arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2303.04778