

## Kampüs Orman Alanları Karbon Yutak Kapasitesinin Zamansal Değişimi; Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Örneği

### Temporal Change of Carbon Sink Capacity of Campus Forest Areas; The Case of Bolu Abant İzzet Baysal University

 Seda SARANAY KAYAR<sup>1</sup>,  Gül TEKİNGÜNDÜZ<sup>2</sup>,  Mustafa Kağan ÖZKAL<sup>3</sup>,  Pınar KIRKIK AYDEMİR<sup>4</sup>

#### Özet

İklim değişikliği ile mücadelede karbon emisyonu açısından ormanlar önemli yutak alanlardır. Orman alanları içerisinde yer alan üniversite kampüslerinin yutak alan fonksiyonunu devam ettirebilmesi için mevcut orman alanlarının korunması ve artırılması önemlidir. Bu çalışmada Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Bolu Orman İşletme Müdürlüğü, Yeşil Dağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi (BAİBÜ) kampüs orman alanının 2009-2019 yılları arasındaki karbon depolama kapasitesindeki değişim belirlenmiştir. Kampüs alanındaki ormanların karbon yutak kapasitesi amenajman yönetmeliğindeki bitkisel kütle genişletme faktörüne (BEF) göre hesaplanmıştır. BEF yöntemiyle belirlenen karbon değeri 2009 yılı orman amenajman planı envanter verilerine göre 25.73 t C/ha, 2019 yılı orman amenajman planı envanter verilerine göre ise 27.86 t C/ha'dır. Kampüs alanının 10 yıllık periyotta bitkisel kütlede karbon stok değişimi 0.213 t/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Sayısal veriler 10 yıllık periyotta kampüs orman alanının karbon yutak kapasitesinin arttığını göstermektedir. BAİBÜ kampüs alanında karbon depolama fonksiyonunun sürdürülebilirliğinin devamlılığı için destekleyici politikaların oluşturulması önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** BEF, Yutak alanlar, İklim değişikliği, Karbon stoku.

#### Abstract

Forest ecosystems are important areas in the combating against climate change. It is significant for university campuses located in forest lands to protect and increase their existing forest lands in order to maintain their sink function. In this study, the change in the carbon sink capacity of the forest land of Bolu Abant İzzet Baysal University (BAIBU) campus area located within the borders of Bolu Regional Directorate of Forestry, Bolu Forest Enterprise, Yeşil Dağ Forest Planning Unit between 2009-2019 was determined. The sink capacity of the forests in the campus area was calculated according to the biomass expansion factor (BEF) in the management plan regulation. The carbon value of the campus area determined by the BEF method is 25.73 t C/ha for 2009 according to the management plan inventory data and 27.86 t C/ha according to the 2019 forest management plan inventory data. The carbon stock change in the biomass of the campus area over a 10 years period was calculated as 0.213 t/ha/year. Results demonstrate that the carbon sink capacity of the campus forest land has increased in the 10 years period. It is important to establish supportive policies for the sustainability of the carbon storage function in the BAIBÜ campus area.

**Keywords:** BEF, Sink areas, Climate change, Carbon stock.

Geliş Tarihi: 21.10.2024, Düzeltme Tarihi: 06.11.2024, Kabul Tarihi: 28.11.2024

Adres: <sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

<sup>2</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mudurnu Süreyya Astarıcı Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Bolu.

<sup>3</sup>Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.

<sup>4</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Bolu.

E-mail: gulakbulut@ibu.edu.tr

## 1. Giriş

Küresel iklim değişikliği dünyanın karşı karşıya kaldığı ortak problemlerin başında gelmektedir. İklim değişikliği ile mücadelede karbon yutak alanlarının önemli olduğu bilinmektedir. Karbon farklı şekillerde fosil yakıtlar, karasal ekosistemler, okyanuslar ve diğer doğal kaynaklarda bulunmaktadır. İklim değişikliğinde etkili olan gazların başında gelen karbondioksit (CO<sub>2</sub>) değeri, atmosferde her yıl yaklaşık 2 ppm artış göstermektedir. Güncel rakamlarla 2023 yılında 420.52 ppm olan CO<sub>2</sub> değeri, 2024 yılında 423.43 ppm olarak kaydedilmiştir (NOAA, 2024). Doğal kaynaklardan orman alanları karbonun depolandığı karasal ekosistemlerin başında gelmektedir (Suryawanshi ve ark., 2014). Orman alanları karbon bağlama ve depolama işlevleriyle diğer karasal ekosistemlerden daha değerlidir (Kocaman ve Durkaya, 2020; Sakıcı ve ark., 2018). Orman ekosistemleri, ağaçlardaki bitkisel kütle birikimi sayesinde, önemli miktarda karbon depolanmasına yardımcı olmaktadır (Sharma ve ark., 2020).

Orman alanlarında karbon ölçümleri ile atmosfere yapılan karbon emisyonları ilişkilendirildiğinde, ilgili hesaplamaların iklim değişikliği ile mücadelede etkili olduğu bilinmektedir (Özdemir ve ark., 2024). Ormanlardaki karbon tutma kapasitesinin belirlenmesine yönelik yapılan ölçümler, ormanların en önemli karbon deposu olduğunu kanıtlamakta ve atmosfere gelecekte eklenecek karbondioksit miktarının azaltılabilmesinde kilit rol oynamaktadır (Bremer ve ark., 2020). Ormanlar bitkisel kütle birikimi dışında karbondioksit emilimi, karbon döngüsü içerisinde yer alma ve toprak karbonu açısından farklı şekillerde katkılar sunmaktadır. FRA (2010) verilerine göre küresel ölçekte ormanlardaki bitkisel kütlede 289 milyar ton, topraklarda 292 milyar ton, ölü odun olarak 33 milyar ton ve ölü örtüde 39 milyar ton olmak üzere toplam 652 milyar ton karbon stoku bulunmaktadır. Ormanların karbonla olan çok boyutlu ilişkisi birlikte değerlendirildiğinde, orman alanlarının iklim değişikliği ile mücadelede önemli araçlar arasında yer aldığını söylemek mümkündür. Bu manada ormanların etkin biçimde kullanılmasında orman alanlarının korunması, fonksiyonel şekilde planlanması ile sürdürülebilir yönetimi önemlidir.

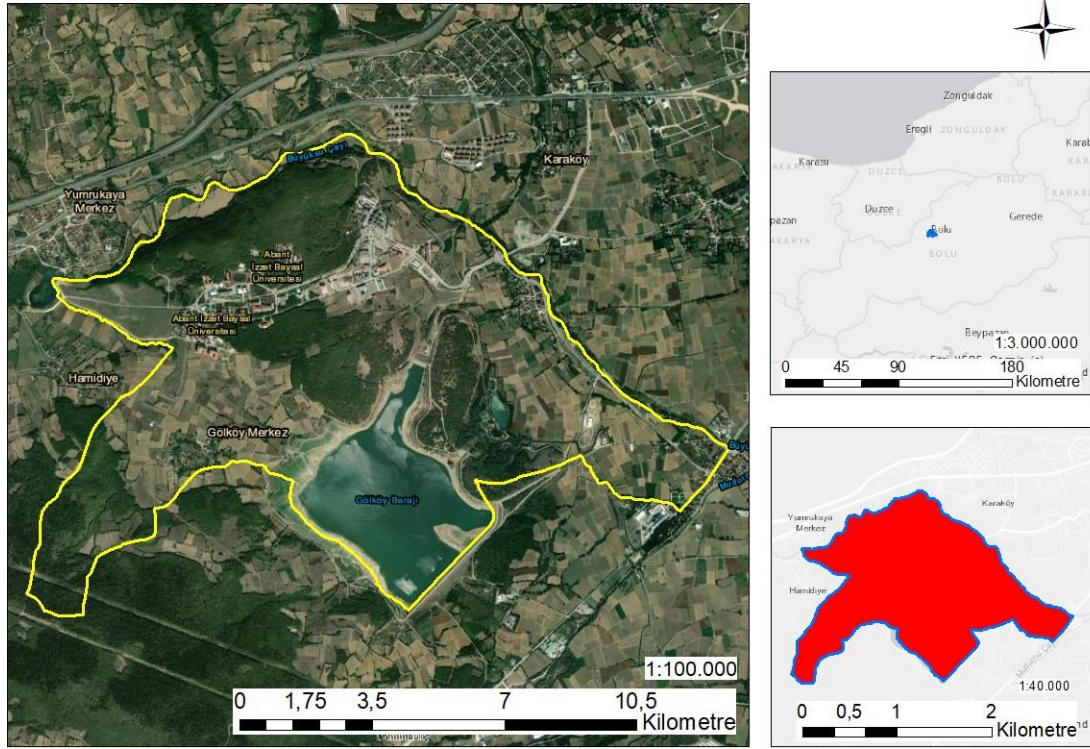
Eğitim kurumları, özellikle üniversite kampüsleri, karbon depolama sürecinde önemli bir role sahiptir. Üniversiteler, tüm olanakların yalnızca kampüs içerisinde bulunması nedeniyle "mini şehirler" veya "küçük ölçekli şehirler" olarak adlandırılmaktadır (Nandal ve ark., 2023; Wibowo ve ark., 2019). Literatürde farklı kampüs alanlarının karbon depolama

miktarlarının belirlenmesine ilişkin araştırmalar yapılmıştır (Gonzalez-Garcia ve ark., 2023; Bremer ve ark., 2020; Agostino, 2020; Gratani ve ark., 2018; Ritchie, 2017; Dilaver ve ark., 2017; Marak ve Khare, 2017; Gavali ve Shaikh, 2016; Das ve Mukherjee 2015; Suryawanshi ve ark., 2014; Padmaningsih, 2015; Ahmedin ve ark., 2013). Bu çalışmanın amacı da hem literatüre katkı sağlamak hem de Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi (BAİBÜ) kampüsünde bulunan orman alanlarında depolanan karbon miktarını 2009-2019 yılları için belirlemek ve değişimleri ortaya koyarak, karbon depolama işlevinin devamlılığını sağlamaya yönelik öneriler geliştirmektir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma alanının tanıtımı

Çalışma alanı olan BAİBÜ, 1992 yılında kurulmuş olup, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde Bolu Orman Bölge Müdürlüğü Bolu Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Yeşildağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1). Üniversitenin merkez kampüsü olan Gököy yerleşkesi kentin kuzeybatısında bulunmakta olup, coğrafi konum olarak 40.7177° Kuzey enlem ile 31.6075° Doğu boylamında yer almaktadır. Bolu'nun iklimi Batı Karadeniz ve Karadeniz iklim tipleri içerisinde yer almaktadır. Bolu'da yıllık ortalama sıcaklık 10.5°C olup, yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 139.7'dir (MGM, 2024). BAİBÜ ana kampüs alanı 1063.5 ha olup, bunun içerisinde %28.82'sine karşılık gelen 306.8 ha orman alanı bulunmaktadır. Kampüs alanı içerisinde sarıçam (*Pinus sylvestris*), karaçam (*Pinus nigra*), gürgen (*Carpinus betulus*), meşe (*Quercus* sp.), göknar (*Abies* sp.), kayın (*Fagus* sp.) türleri bulunmaktadır. Bu türler alanda saf ve karışık meşcereler oluşturmaktadır.



Şekil 1. BAİBU kampüs alanı haritası.

## 2.2. Karbon depolama miktarlarının hesaplanması

Bu çalışmada Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının (ETFOP) Düzenlenmesine Ait Usul ve Esasları içeren 299 No.lu tebliğe göre, BAİBÜ kampüs alanındaki ormanların bitkisel kütlede depolanan karbon miktarları hesaplanmıştır (OGM, 2017). Alan içerisinde Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Amenajman Başmühendislikleri tarafından hazırlanan sayısal meşcere haritaları ve Amenajman Plan Programları üzerinde yer alan envanter noktalarına ait veriler yardımıyla türlerin bitkisel kütle ve hacim hesapları 2009 ve 2019 yılları için ayrı ayrı hesaplanarak veri setleri oluşturulmuştur. Yeşildağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki bölmelerin verim gücünün birbirinden farklı olması nedeniyle, yalnızca kampüs alanının bulunduğu bölmelerde çalışılmış (32,33,34,35,36,37,38), hektardaki servet yerine nokta verisi kullanılmıştır. Envanter noktalarından elde edilen veriler kullanılarak, plan ünitesindeki her 300x300 metrelik alanda, kapalılığa bağlı olarak farklı büyüklüklerde (400 m<sup>2</sup>, 600 m<sup>2</sup>, 800 m<sup>2</sup>) örnek alanlar belirlenmiştir. Bu örnek alanlar içerisine giren bireylerin hacimleri, amenajman planında bulunan dikili gövde hacim tabloları yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar normal kapalı (verimli) orman alanları üzerinden yapılmıştır. Boşluklu kapalı (bozuk) ormanlar için amenajman planlarında servet değerleri bulunmakla beraber, çap değerleri belirtilmediği için BEF yönteminde bozuk meşcereler hesaplamaya

dahil edilmemektedir. Çalışma kapsamında ayrıca canlı bitkisel kütledeki karbonun değişimi belirlenmek istendiğinden ağaçsız orman alanları, ölü örtü, ölü odun ve toprak karbonu hesaplamalara dahil edilmemiştir.

IPCC kılavuzunda orman envanterinde çoğunlukla kabuklu gövde odunu hacim değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Bu kapsamda gövde odunu hacim ağırlığı (HA), bitkisel kütle genişletme katsayıları (BEF), kök/sak oranı (R) kullanılarak toplam bitkisel kütle miktarına ulaşılmaktadır (IPCC, 2006). Karbon envanterinde ilk adım gövde odunu hacminin, gövde odunu bitkisel kütlelerine dönüştürülmesidir. Toplam canlı bitkisel kütle hesabında toprak üstü ve toprak altı olmak üzere iki hesaplama yapılmaktadır. Toprak üstü bitkisel kütle gövde odunu bitkisel kütlelerinin BEF katsayıları ile çarpılması sonucunda hesaplanmaktadır. Toprak altı bitkisel kütle miktarı ise, toprak üstü bitkisel kütle değerlerinden kök/sak oranları (R) kullanılarak hesaplanır (Çizelge 1). Ardından karbon faktörü (CF) kullanılarak bitkisel kütledeki toplam karbon stoku hesaplanır (Asan, 1995; Tolunay, 2013; OGM, 2017). Orman ekosistemlerinde karbon miktarı;

1. Toprak üstü ve altındaki canlı bitkisel kütle
2. Canlı bitkisel kütle içindeki karbon miktarı
3. Ölü odun içindeki karbon miktarı
4. Ölü örtü içindeki karbon miktarı
5. Orman toprağı içindeki karbon miktarı ile hesaplanmaktadır (OGM, 2017).

Bu çalışmada BAİBÜ kampüs alanının orman alanındaki karbon yutak kapasitesi canlı biyokütlerdeki yani toprak üstü (TÜB) ve toprak altı (TAB) canlı bitkisel kütle için hesaplanmıştır. Bu işlemde öncelikle toprak üstü canlı bitkisel kütle hesaplanmakta, sonra hesaplanan bu TÜB değerine bağlı olarak toprak altı canlı bitkisel kütle hesaplanmaktadır. Toprak üstü bitkisel kütle (TÜB) hesabında;

$$(1) T\ddot{U}B = DGH \times HA \times BEF$$

formülü kullanılmaktadır. Bu formülde (1);

*DGH*: Her ağaç türü veya ağaç türü grubu için toplam dikili kabuklu gövde hacmini (m<sup>3</sup>),

*HA*: Her tür veya tür grubu için kabuklu gövde odunu hacim ağırlığını (t/m<sup>3</sup>) ve

*BEF*: Her ağaç türü veya ağaç türü grubu için dikili kabuklu gövde odunu hacmine karşılık gelen bitkisel kütleyle toprak üstü toplam bitkisel kütleyle çevirmek için kullanılan genişletme faktörlerini ifade etmektedir. Toprak altı canlı bitkisel kütle (TAB) hesabında;

$$(2) TAB = T\ddot{U}B \times R$$

formülü kullanılmaktadır. Bu formülde (2);

*R*: Ağacın toprak üstü bitkisel kütesinden kök bitkisel kütesini hesaplama katsayısı olup, kök/sak oranı şeklinde ifade edilmektedir.

### Çizelge 1. Karbon hesaplamasında kullanılan bitkisel kütle katsayıları.

Vejetasyon tipi	Gövde odunu hacim ağırlığı (t/m <sup>3</sup> ) (Tolunay, 2013)	BEF katsayıları (Tolunay, 2019)	R katsayıları (FRA, 2010)
İbreliler	0.446	1.212	0.29
Yapraklılar	0.541	1.310	0.24

2009 ve 2019 yıllarında yapılan envanterlerdeki ağaç serveti değerlerinden karbon stokları belirlendikten sonra yıllık karbon stok değişimi IPCC'nin 2003-2006 kılavuzuna göre hesaplanmıştır. Buna göre canlı bitkisel kütledeki karbon stok değişimi (t/ha/yıl):

$$(3)\Delta C = (C2019 - C2009)/(T2 - T1)$$

formülü ile hesaplanmıştır. (3) Formülde C2019 ve C2009 ilgili yıllardaki karbon değerlerini, T2 ve T1 ise değişimin esas alındığı süre olan yıl değerini ifade etmektedir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. BAİBU kampüs alanında 2009-2019 yılları arasındaki alansal değişim

BAİBÜ kampüs alanının 2009-2019 yılları arasındaki alansal değişim amenajman plan verilerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Kampüste alan kullanımı; orman alanı, ziraat alanı, iskan alanı ve su alanları kapsamında değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Buna göre kampüs orman alanı 2009 yılında 313.7 ha iken, 2019 yılında 306.8 ha'a düşmüş olup toplam 6.9 ha azalma olmuştur. Bu da kampüs orman alanının 10 yıllık süreçte %2.20 azaldığını göstermektedir. Ağaçsız orman alanına bakıldığında 2009 yılında 114.6 ha iken, 2019 yılında toplam 43.2 ha'lık bir azalma ile 71.4 ha olmuştur. Bu azalma toplam ağaçsız orman alanında %37.6'lık bir orana karşılık gelmektedir. Kampüs alanı içerisinde 2009 yılında mera alanı bulunmamakta olup, 2019 yılında 38.6 ha mera alanı olduğu görülmektedir. Ağaçsız orman alanındaki azalma ilgili alanların mera alanı olarak değiştirilmesinden kaynaklı olup, kampüs alanı içerisinde alan kullanım değişikliği olduğu görülmektedir.

BAİBÜ kampüs alanı içerisindeki ziraat alanlarına bakıldığında 2009 yılında 395.7 ha olan ziraat alanı, 2019 yılında 35.7 ha artarak 431.4 ha olmuştur. Böylece ziraat alanı toplam %9.02 artmıştır. İskan alanlarına bakıldığında ise 2009 yılında 88.5 ha iken 2019 yılında 47.6 ha artmış ve toplam iskan alanı 136.1 ha olmuştur. Bu da kampüs alanı içerisinde iskan alanlarının on yıllık süreçte %53.8 arttığını göstermektedir. Kampüs alanı içerisinde su alanı

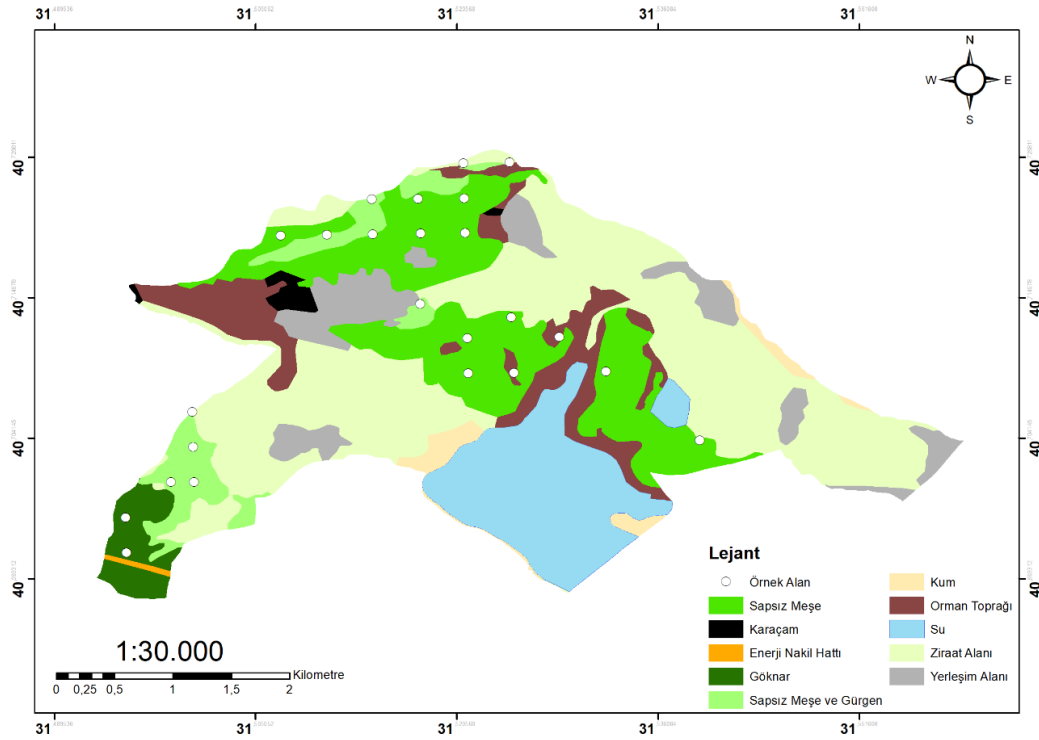
(göl, baraj) 2009 yılında 144.6 ha iken, 2019 yılında 26.8 ha azalma ile 117.8 ha'a düşmüştür. Su alanlarındaki azalma %18.5'tir.

### Çizelge 2. BAİBÜ kampüs alanı değişimleri (2009-2019).

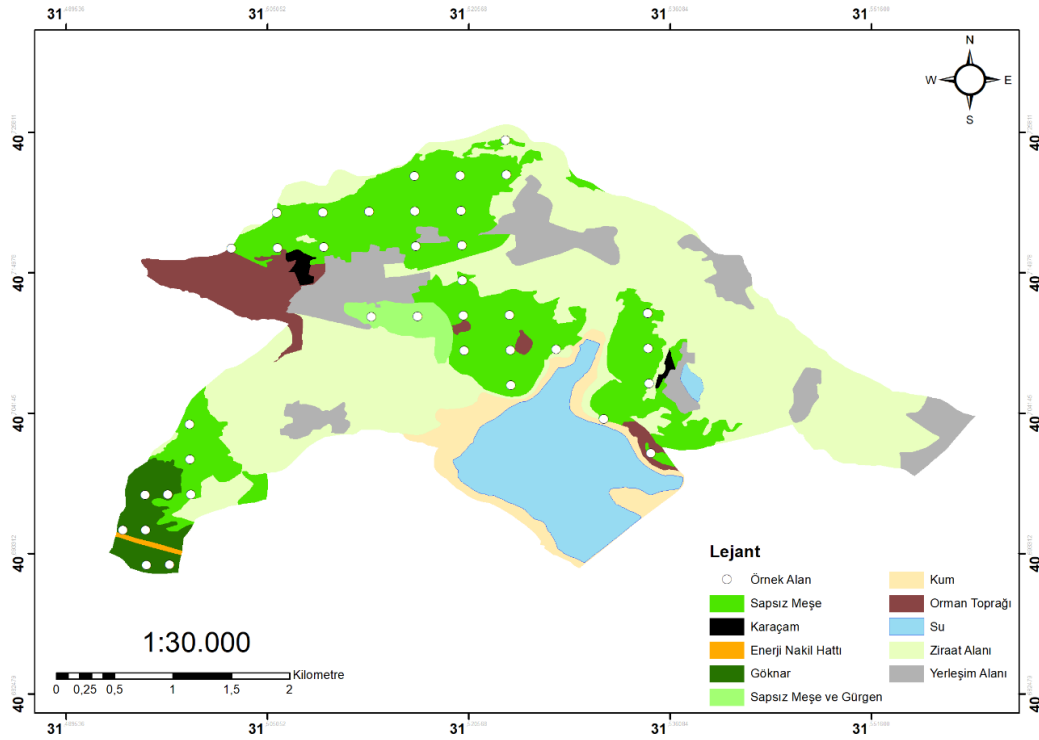
Kampüs alanı	2009 (ha)	2019 (ha)	Değişim (ha)	%
Orman alanı (ağaçlı)	313.7	306.8	-6.9	-2.20
Orman alanı (ağaçsız)	114.6	71.4	-43.2	-37.70
Mera	0	38.6	38.6	100.00
Ziraat alanı	395.7	431.4	35.7	9.02
İskan alanı	88.5	136.1	47.6	53.79
Su alanı (göl, baraj)	144.6	117.8	-26.8	-18.53

### 3.2. BAİBU kampüs orman alanlarının karbon yutak kapasitesi ve karbon stok değişimi

BAİBÜ kampüs alanının 2009 ve 2019 yıllarına ait alan kullanım ve ağaç türü dağılım haritasında ibrelili, yapraklı ve karışık ormanlar ile çeşitli arazi kullanım alanları verilmiştir. Bu alanlar aynı harita üzerinde gösterilmiştir. Buna göre kampüs alanında kum, orman toprağı, su, ziraat alanı, yerleşim alanları, enerji nakil hattı ile ibrelili, yapraklı ve ibrelili-yapraklı türlerden oluşan karışık orman alanları bulunmaktadır. Orman alanları içerisinde ise karaçam, sapsız meşe, göknar ile sapsız meşe-gürgen karışık meşcerelerine ait veriler bulunmaktadır (Şekil 2, Şekil 3).



Şekil 2. 2009 yılı BAİBU alan kullanım ve ağaç türü dağılım haritası.



**Şekil 3.** 2019 yılı BAİBU alan kullanım ve ağaç türü dağılım haritası.

Kampüs alanının 2009 yılı toplam orman alanı 313.7 ha olup, alanda en fazla bulunan tür sapsız meşedir (%63.5). Bunu sırasıyla sapsız meşe-gürgen karışık meşçeresi (%19.3), göknar (%8.3) ve karaçam (%2.6) meşçereleri takip etmektedir. Kampüs alanının 2019 yılı toplam orman alanı 306.8 ha olup, kampüs alanında en fazla bulunan tür sapsız meşedir (%35.5). Bunu sırasıyla sapsız meşe-gürgen karışık meşçeresi (%19.2), göknar (%10.1) ve karaçam (%1.5) takip etmektedir. Yıllara göre türlerin alansal değişimine bakıldığında karaçam (%42.7), sapsız meşe (%45.3), sapsız meşe-gürgen karışık meşçeresinde (%2.4) azalma olduğu görülmektedir. 10 yıllık periyotta alan olarak en fazla azalma sapsız meşede görülmektedir. Diğer türlerden farklı olarak göknar meşçeresi (%19.7) alan olarak artmıştır (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** 2009-2019 yıllarına ait meşçere tipi alan büyüklükleri.

Meşçere tipi	2009 yılı Toplam orman alanı 313.7 ha		2019 yılı Toplam orman alanı 306.8 ha	
	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)
Karaçam	8.2	2.6	4.7	1.5
Sapsız meşe	199.2	63.5	108.9	35.5
Göknar	25.9	8.3	31.0	10.1
Sapsız meşe-gürgen	60.5	19.3	59.0	19.2



BAİBÜ kampüs alanındaki meşcere tiplerine göre toplam karbon stok değerleri Çizelge 4’te verilmiştir. Çalışma alanı ibrelili ve yapraklı türlerin olduğu saf ve yapraklı türler arası karışık meşcerelerde oluşmaktadır. 2009 yılında orta yaşlı seçme ormanı olarak tanımlanan GC meşceresi 2019 yılında genç, orta yaşlı, yaşlı seçme ormanları karışımından oluşan GD aktüel seçme ormanına dönüşmüştür. 2009 yılında karbon değeri en fazla GC meşceresi olup (79.506 t C/ha), GC meşceresinin sırasıyla Mbc3, MGnbc3, GnMbc3, Mb3 meşcereleri takip etmektedir. 2009 yılı için karbon değeri en düşük olan meşcere Mbc2’dir (3.010 t C/ha). 2019 yılına bakıldığında GD meşceresi 54.261 t C/ha ile en fazla karbon tutan meşcere olmuştur. GD meşceresinin sırasıyla Mzbc3, GnMzbc3, MzGnbc3 meşcereleri izlenmektedir. 2019 yılında karbon değeri en az olan meşcere hektardaki serveti en az olan GnKnbc3 meşceresidir (1.270 t C/ha).

**Çizelge 4. BAİBÜ kampüs alanı karbon stok değerleri.**

2009							
Meşcere tipi	Hektardaki ağaç serveti m <sup>3</sup> /ha	(TÜB) t/ha	(TÜK) t C/ha	(TAB) t/ha	(TAK) t C/ha	(TÜB+TAB) t/ha	(TÜK+TAK) t C/ha
GC	254.604	121.037	61.669	35.002	17.837	156.038	79.506
GnMbc3	141.542	19.814	9.511	9.511	2.283	24.570	11.794
Mb3	105.083	13.230	6.351	6.351	1.524	16.406	7.875
Mbc2	52.250	5.058	2.428	2.428	0.583	6.271	3.010
Mbc3	178.889	31.875	15.300	15.300	3.672	39.525	18.972
MGnbc3	152.469	28.016	13.448	13.448	3.227	34.740	16.675
2019							
Meşcere tipi	Hektardaki ağaç serveti m <sup>3</sup> /ha	(TÜB) t/ha	(TÜK) t C/ha	(TAB) t/ha	(TAK) t C/ha	(TÜB+TAB) t/ha	(TÜK+TAK) t C/ha
GD	171.611	82.567	42.081	23.897	12.181	106.464	54.261
GnKnbc3	47.000	2.133	1.024	0.512	0.246	2.645	1.270
GnMzbc3	157.167	30.193	14.492	7.246	3.478	37.439	17.971
Mzbc3	157.271	40.640	19.507	9.754	4.682	50.394	24.189
MzGnbc3	128.167	26.593	12.765	6.382	3.064	32.976	15.828

TÜB: Hektardaki ortalama toprak üstü bitkisel kütle, TÜK: Hektardaki ortalama toprak üstü karbon, TAB: Hektardaki ortalama toprak altı bitkisel kütle, TAK: Hektardaki ortalama toprak altı karbon, TÜB+TAB: Hektardaki ortalama bitkisel kütle, TÜK+TAK: Hektardaki ortalama karbon.

Tek ağaç düzeyine göre yapılan ölçümlerde örnek alanlardan 2009 yılında 1217 birey, 2019 yılında ise 1190 bireyin çap değerlerine göre hesaplamaları yapılmıştır. 2009 yılında kampüs alanında bulunan 49 cm çapındaki göknar bireyinin karbon değeri (TÜK+TAK) 1.659kg C/ağaç ile en yüksek olarak hesaplanmıştır. 2019 yılında ise Mzbc3 meşceresinde bulunan 57 cm çapındaki meşe bireyinin 2.553kg C/ağaç ile en fazla karbon değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonrasında yine kalın çaplı göknar bireyleri (44-47 cm) 1.172kg C/ağaç karbon değeri ile meşeyi takip etmişlerdir. Dilaver ve ark. (2017) Ankara

Üniversitesi kampüs alanında karbonun en fazla karaçamda depolandığını ve bu durumun nedeninin kampüste en çok bulunan türün karaçam olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Bunun aksine BAİBU kampüs alanında en fazla bulunan tür meşe olmasına rağmen, en fazla karbon göknar meşcerelerinde tutulmaktadır. Madrid Özerk Üniversitesi kampüs alanı içerisinde meşe türü, karbon depolama açısından önemli katkı sağlayan türlerin başında gelmektedir (Gonzalez-Garcia ve ark., 2023). Düzce ili orman alanlarında kayın (Değermenci, 2023), Akdeniz Ekolojik Bölgesi ormanlarında yapraklı meşcerelerde kızılâğaç, sığla ve dişbudak, iğne yapraklı meşcerelerde ise sedir, göknar ve karaçam en fazla karbon depolayan türler olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Pamukçu Albers ve ark., 2023).

BAİBÜ kampüs alanında 2009 yılında 24 farklı noktadan alınan örnek alanlara ilişkin yapılan hesaplamalarda, kampüs orman alanının 2009 yılı bitkisel kütlesi 52.00 t/ha ve toplam karbon değeri ise 25.73 t C/ha olarak bulunmuştur. Kampüs orman alanının 2009 yılı için toplam karbon stoku 8071.50 t olarak hesaplanmıştır. Amenajman planında 2019 yılına ait ölçümlerde ise BAİBÜ kampüs alanının 31 farklı noktasından alınan örnek alanlara ilişkin yapılan hesaplamalarda, BAİBÜ kampüs orman alanının toplam canlı bitkisel kütlesi 56.77 t/ha, toplam karbon değeri 27.86 t C/ha olarak bulunmuştur. Kampüs orman alanının 2019 yılı için toplam karbon stoku ise 8547.44 t olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda BAİBÜ kampüs orman alanında 10 yıllık süreçte toplam karbon stokunda 475.94 t artış olduğu görülmektedir. Padmaningsih (2015), Hollanda'da bulunan Twente Üniversitesi'nin yeşil alanlardaki karbon stokunu 12045.9 t olarak hesaplamıştır. Madrid Özerk Üniversitesi kampüs alanının yılda 124 t karbon tutma kapasitesi bulunmaktadır (Gonzalez-Garcia ve ark., 2023). Keleş ve ark. (2024) tarafından Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanı'nda yapılan çalışmada orman ağaçlarında depolanan karbon miktarı 15.619 t/ha olarak hesaplanmıştır. Literatürde kampüs alanları dışında orman alanlarının yutak kapasitelerini hesaplayan çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Değermenci (2023), Düzce ilinin boşluklu ve normal kapalı orman alanında toplam 6.71 Mt karbon depolandığını hesaplamıştır. Durkaya ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada Bartın Kent Ormanı'nda toprak üstü ve toprak altında depolanan karbon miktarı toplam 161.59 t/ha bulunmuştur.

Bu araştırma kapsamında 2009-2019 yılları arasında kampüs alanında bitkisel kütlerdeki artış %9.17 olup, toplam karbon miktarındaki artış %8.32'dir (Çizelge 5). Değermenci ve Zengin (2016) tarafından Daday planlama biriminde ormanlarda karbon birikiminin mekansal ve zamansal değişiminin incelendiği çalışmada benzer olarak hem bitkisel kütle hem de toplam karbon miktarında artış görülmekte olup, 10 yıllık süreçte

700.000 m<sup>3</sup> bitkisel kütle artışı olduğu hesaplanmıştır. Benzer şekilde Yaman ve Keleş (2023) tarafından Alara planlama biriminde orman ağaçlarında depolanan karbon miktarının zamansal değişiminin incelendiği çalışmada ise 21 yıllık süreçte bitkisel kütlede depolanan karbon miktarında %10 artış olduğu görülmektedir. Sivrikaya ve Bozali (2012) ise çalışmasında Türkoğlu planlama biriminde 1991 ile 2002 yılları arasında karbon miktarında %19.5 artış olduğunu belirlemiştir.

#### Çizelge 5. BAİBÜ kampüs alanı bitkisel kütle ve toplam karbon değerleri.

	2009	2019	Artış miktarı
Bitkisel kütle	52.00 t/ha	56.77 t/ha	%9.17
Toplam karbon	25.73 t C/ha	27.86 t C/ha	%8.32

Kampüs alanının 2009-2019 yıllarını kapsayan süreçte karbon stok değişimi, kampüs alanının 2019 yılındaki karbon miktarından 2009 yılındaki karbon miktarının çıkarılıp, zamansal değişim süreci olan 10 yıla bölünmesi ile hesaplanır. Buna göre kampüs alanının 10 yıllık periyotta bitkisel kütlede karbon stok değişimi;

$$\Delta C = (C_{2019} - C_{2009}) / (T_2 - T_1)$$

$$\Delta C = (27.86 - 25.73) / 10$$

$$\Delta C = 0.213 \text{ t/ha/yıl}$$

Karbon depolama açısından, atmosferden en fazla karbondioksiti hapseden ağaçlar en hızlı büyüyen ağaçlardır (hacim olarak). Okaliptüs, sedir, çınar, akçağaç gibi ağaçlar yılda 300 ila 550 kg arasında bir oranda karbondioksit hapsedebilir (Cox, 2012). Bu durumda ormanlarda tutulan toplam karbon, yıllık karbon depolama hesaplamasında bir dengeleme olarak uygulanabilir. Bunun için, kampüs ormanlarında her yıl tutulan karbon miktarı, ölçülen sera gazı emisyonlarından çıkarılarak kampüs karbon ayak izi azaltılabilir (Bremer ve ark., 2020). Kanada'da bulunan toplam alanı 38 ha olan Dalhousie Üniversitesi kampüs alanının yıllık karbon yutak kapasitesi, Dalhousie'nin yıllık sera gazı emisyonlarının %0.1'inden daha azdır. Bu durum kampüs orman alanının yutak alan kapasitesinin artırılmasının gerektiğini göstermektedir (Ritchie, 2017). Benzer şekilde Avustralya'da bulunan Wollongong Üniversitesi ana kampüsündeki ağaçların 2020 yılı için karbon stoku yaklaşık 15.082 t olup, bu değer 2019 yılı için karbon emisyonlarının %0.68'ini telafi etmektedir (Agostino, 2020). BAİBÜ kampüs alanında 2009-2019 yıllarını kapsayan 10 yıllık süreçte yeni fakültelerin kurulması ile üniversite öğrencisi, akademik ve idari personel sayısında artış meydana gelmiştir. Bu durum kampüs alanı içerisinde fakülte, lojman, yurt, sosyal aktivite merkezi gibi yapıların da artmasına neden olmuştur. Bu kapsamda BAİBÜ

kampüs alanında 10 yıllık süreçte iskan alanlarında meydana gelen artışın (%53.7), emisyon miktarında da artışa neden olduğu düşünülmektedir. Kampüs kullanıcı kapasitesinin artması, bununla ilişkili olarak yapılaşmanın artması neticesinde kampüs alanında karbon stok kapasitesinin korunması ve arttırılması için çeşitli önemlerin alınması önemlidir. Değermenci ve Zengin (2016) araştırmasında bitkisel kütledeki artışta verimli ibrelili orman alanlarının artması, açıklık alanların orman örtüsü ile kaplanması, ılımlı silvikültürel müdahalelerin etkili olduğunu açıklamaktadır. Benzer şekilde Günlü ve ark. (2019) araştırmasında toprak üstü karbon miktarında meydana gelen artışın verimli orman alanlarının artması neticesinde hektardaki servetin artması ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Ormanlarda karbon stok miktarının artması amacıyla, daha fazla karbon tutan türlerle ağaçlandırma yapmak (Bremer ve ark., 2020), hızlı büyüme yeteneğine sahip ağaçlara öncelik vermek önemlidir (Ritchie, 2017). Bilindiği üzere ağaçlar karbonu atmosferden absorbe etme sürecini logaritmik bir desende gerçekleştirirler. Başlangıçta, orta yaşlı ağaçlar karbonu en yüksek seviyede alırlar. Zamanla ise yaşlandıkça, karbon alım hızları yavaşlar (Unwin ve Kriedemann, 2000). Bununla birlikte ağaçlarda karbon en fazla gövde odununda depolanmaktadır. Buna istinaden toplam bitkisel kütle ve karbon stok miktarının artmasında ileri yaşlı ağaçların sahada bırakılması önemlidir.

#### 4. Sonuçlar

İklim değişikliği ile mücadelede orman alanlarının fonksiyonu ve etkinliği bilinmektedir. Bu noktada kampüs alanlarının planlanması ve yönetilmesinde orman alanlarının iklim değişikliğindeki rolünün dikkate alınması önemlidir. Bu çalışmada BAİBÜ kampüs alanının 2009 ve 2019 yıllarına ait amenajman planlarındaki verilerden yola çıkarak alan kullanım değişimleri belirlenmiş olup, bununla birlikte kampüs orman alanlarındaki toplam bitkisel kütle ve toplam karbon stok değerleri hesaplanmıştır. Buna göre kampüs toplam orman alanı, ağaçsız orman alanı ve kampüsteki su alanlarında azalmaların olduğu görülmektedir. Bu alanlar içerisinde en fazla azalma ağaçsız orman alanında olmuştur. Sayısal veriler 10 yıllık süreçte kampüs alanı içerisinde arazi kullanım değişikliği olduğunu göstermektedir. Bu değişikliğin ağaçsız orman alanlarının mera ve ziraat alanlarına dönüştürülmesinden kaynaklı olduğu görülmektedir. Kampüs alanı içerisinde su alanlarındaki %18.5'lik azalma kritiktir. Bu konuda su havzalarının iyileştirilmesi, su kullanımının kapsamı ve niteliğinin değerlendirilmesi ile gerekli müdahalelerin yapılması önemlidir. Kampüs içerisinde iskan alanlarının yeşil kampüs kriterleri kapsamında iyileştirilmesi iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adımdır. Ormanların CO<sub>2</sub>

emisyonlarını dengeleyerek karbonu bitkisel kütlede depolaması, emisyonların bir kısmının bu alanlar tarafından telafi edilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada ele alınmayan ancak toplam emisyonların orman alanları tarafından ne ölçüde telafi edildiğini incelemek, başka bir araştırma kapsamında değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur.

Bu araştırmanın sonuçları karbon yutak kapasitesi büyüklüğünün ağaç türünden çok çap büyüklüğüne göre arttığını ortaya koymaktadır. Bu türlerin ve meşcere tiplerinin karbon tutma kapasitelerinin yüksek olması, örnek alanlarının içerisine düşen bireylerin en kalın gövde çapına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Kampüs içerisinde alan kullanım planlamasında özellikle iyi gövde gelişimi göstermiş ileri yaşlı ağaçların sahada korunması önemlidir. İklim değişikliği ile mücadele kapsamında emisyon ticaret sistemine yönelik girişimlerde kolaylık sağlaması adına, kampüs alanına yönelik veri tabanı oluşturulması uzun vadede katkı sağlayacaktır. Son olarak literatür incelendiğinde orman alanlarında karbon yutak kapasitesini hesaplamaya yönelik uzaktan algılama yöntemlerinin kullanıldığı güncel çalışmaların olduğu görülmektedir (Günlü ve ark., 2021; Keleş ve ark., 2021; Bulut ve ark., 2022; Değermenci, 2022; Sivrikaya ve Demirel, 2022; Değermenci ve Zengin, 2023; Güverçin ve Günlü, 2023). Bu doğrultuda BAİBÜ kampüs orman alanında uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak karbon yutak kapasitesinin hesaplanması ve çıkan sonuçlar ile bu araştırmanın sonuçlarının kıyaslanmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## **Teşekkür**

Bu çalışmada amenajman planlarına ilişkin kullanılan veriler Orman Genel Müdürlüğü tarafından paylaşılmış olup, desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Agostino, N. J. (2020). *The potential of carbon sequestration in trees on the University of Wollongong campus as a means of offsetting emissions* [Honours Theses]. University of Wollongong.
- Ahmedin, A. M., Bam, S., Siraj, K. T., & Raju, A. J. S. (2013). Assessment of biomass and carbon sequestration potentials of standing *Pongamia pinnata* in Andhra University, Visakhapatnam, India. *Bioscience Discovery*, 4(2), 143-148.
- Asan, Ü. (1995). Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 45(1-2), 23-38.
- Bremer, M., Frisa, E., Maccarone, R., & Seif, D. (2020). Campus forest carbon sequestration: An undergraduate project experience. *Journal of Sustainability Education*, 24.
- Bulut, S., Sivrikaya, F., & Günlü, A. (2022). Evaluating statistical and combine method to predict stand above-ground biomass using remotely sensed data. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9), 838.
- Cox, H. M. (2012). A sustainability initiative to quantify carbon sequestration by campus trees. *Journal of Geography*, 111(5), 173-183.
- Das, M., & Mukherjee, A. (2015). Carbon Sequestration potential, its correlation with height and girth of selected trees in the Golapbag Campus, Burdwan, West Bengal (India). *Indian Journal of Scientific Research*, 10(1), 53-57.
- Değermenci, A. S., ve Zengin, H. (2016). Ormanlardaki karbon birikiminin konumsal ve Zamansal değişiminin incelenmesi: Daday Planlama Birimi örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 177-187.
- Değermenci, A. S. (2022). Determining the Effects of changes in land use on carbon amount in above-ground biomass with NDVI. *Global NEST Journal*, 25(3).
- Değermenci, A. S. (2023). Düzce ili karasal karbon kapasitesinin belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(1), 99-110.
- Değermenci, A. S., & Zengin, H. (2023). Determination of carbon storage amounts in above-ground biomass using NDVI based on land use/land cover classes in Bolu. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1), 64-74.
- Dilaver, Z., Yuksel, U. D., & Yilmaz, F. C. (2017). Contribution of university campuses to climate change mitigation: Ankara University Tandogan campus case. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7018-7024.

- Durkaya, B., Bekci, B., ve Varol, T. (2016). Bartın kent ormanının karbon tutma, oksijen üretimi ve rekreasyonel açıdan değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1).
- FRA, (2010). *Global forest resources assessment 2010* (s. 163) [Main report]. FAO.
- Gavali, R. S., & Shaikh, H. M. Y. (2016). Estimation of carbon storage in the tree growth of Solapur University Campus, Maharashtra, India. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(4), 2364-2367.
- González-García, A., Aguado, M., Solascasas, P., Palomo, I., González, J. A., García-Llorente, M., Hevia, V., Olmo, R. M., López-Santiago, C. A., Benayas, J., & Montes, C. (2023). Co-producing an ecosystem services-based plan for sustainable university campuses. *Landscape and Urban Planning*, 230, 104630.
- Gratani, L., Pepe, M., Spoletini, A., & Varone, L. (2018). Carbon sequestration capability provided by different types of green areas in Rome. İçinde *In World Forum on Urban Forests-Book of abstracts* (s. 236). <https://hdl.handle.net/11573/1290949>.
- Günlü, A., Göl, C., & Sarıçam, F. (2019). The Evaluation of temporal and spatial change of aboveground stand carbon: A case study of Upstream of The Göksu River Basin. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(4), 352-359.
- Günlü, A., Keleş, S., Ercanli, I., & Şenyurt, M. (2021). Estimation of aboveground stand carbon using landsat 8 OLI satellite image: A case study from Turkey. *Spatial modeling in forest resources management: Rural livelihood and sustainable development*, 385-403.
- Güverçin, İ., ve Günlü, A. (2023). Saf kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde aktif ve pasif uydu görüntüleri kullanılarak topraküstü biyokütlenin tahmin edilmesi (Anamur Orman İşletme Şefliği Örneği). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1), 177-191.
- IPCC, (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_04\\_Ch4\\_Forest\\_Land.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf).
- Keleş, N. N., Tepebaş, B., ve Keleş, S. (2024). Orman ağaçlarında depolanan karbon ve üretilen oksijen miktarının zamansal değişiminin analizi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 16-21.
- Keleş, S., Günlü, A., & Ercanli, İ. (2021). Estimating aboveground stand carbon by combining Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite data: A case study from Turkey. İçinde *Forest Resources Resilience and Conflicts* (ss. 117-126). Elsevier.

- Kocaman, M., ve Durkaya, B. (2020). Karbon depolama miktarlarının zamansal değişimi. *Bartın Orman Fakóltesi Dergisi*, 22(2), 591-603.
- Marak, T., & Khare, N. (2017). Data from: Carbon content of tree tissues: A synthesis. *International Journal for Scientific Research & Development*, 5(6), 63-65.
- MGM, (2024). *İllere ait mevsim normalleri*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BOLU>. Erişim Tarihi: 27.04.2024.
- Nandal, A., Yadav, S. S., & Nath, A. J. (2023). Trees outside forests as climate change mitigation champions: Evaluating their carbon sequestration potential and monetary value in Maharshi Dayanand University, Rohtak (Haryana), India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(8), 995.
- NOAA, (2024). *Global Monitoring Laboratory, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (CO2)*. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> Erişim Tarihi:18.05.2024.
- OGM, (2017). *Orman Genel M¼d¼rl¼ę¼, Ekosistem tabanlı fonksiyonel orman amenajman planlarının d¼zenlenmesine ait usul ve esaslar*. 8.
- Özdemir, E. G., Zengin, T. U., ve Güleç, H. A. (2024). Orman ekosistemindeki ağaç boylarının, optik, radar, lazer altimetre uydu verileri ve yardımcı kaynaklar kullanılarak Google Earth Engine platformunda modellenmesi. *Geomatik*, 9(2), 259-268.
- Padmaningsih, A. T. (2015). *Carbon balance for sustainable land use scenarios and a green campus at the University of Twente*. University of Twente.
- Pamukçu Albers, P., Balkiz, Ö., Çağlayan, S. D., Bucak Onay, T., Çalişkan, B. K., Ülker, E. D., Bilgin, G. D., Lise, Y., Zeydanli, U. S., & Özdemir, E. (2023). Üst ölçekli planlama kapsamında Türkiye'deki Akdeniz Ekolojik Bölgesi ormanlarında karbon tutumu. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormancılık Dergisi*, 24(4), 346-366.
- Ritchie, Y. (2017). *Investigating the carbon sequestration and storage capacity of trees in a university campus environment*. Environmental Science Undergraduate Honours Thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada. <http://hdl.handle.net/10222/76521>.
- Sakıcı, O. E., Seki, M., & Sağlam, F. (2018). Above-ground biomass and carbon stock equations for Crimean pine stands in Kastamonu region of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(10), 7079-7089.
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M., & Bhattacharya, P. (2020). Assessment of carbon sequestration potential of tree species in Amity University Campus Noida. *The 1st*



*International Electronic Conference on Forests&mdash;Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation, Interdisciplinarity*, 3(1), 52.

- Sivrikaya, F., ve Bozali, N. (2012). Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi: Türkoğlu planlama birimi örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1. Special Issue), 69-76.
- Sivrikaya, F., & Demirel, D. (2022). Estimation of aboveground carbon storage based on remote sensing and inventory data: A case study from Türkiye. *Journal of Biometry Studies*, 2(2), 78-86.
- Suryawanshi, M. N., Patel, A. R., Kale, T. S, K., & Patil, P. R. (2014). *Carbon sequestration potential of tree species in the environment of North Maharashtra University campus, Jalgaon (MS) India*. 5(2), 175-179.
- Tolunay, D. (2013). Türkiye’de ağaç servetinden bitkisel kütle ve karbon miktarlarının hesaplamasında kullanılabilir katkılar. *Ormanlıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. Ormanlıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu, Antalya.
- Tolunay, D. (2019). Biomass factors used to calculate carbon storage of Turkish forests. *Forestist*, 69(2), 144-155.
- Unwin, G. L., & Kriedemann, P. E. (2000). Principles and processes of carbon sequestration by trees. *Research and Development Division, State Forests of New South Wales*.
- Wibowo, A., Yussof, M. M., Hamzah, T. A. A., & Salleh, K. O. (2019). Urban heat signature impact on university campus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 338(1), 012027.
- Yaman, Y., ve Keleş, S. (2023). Orman ağaçlarında depolanan karbon miktarının konumsal ve zamansal değişiminin analiz edilmesi: Alara planlama birimi örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 28-41.