



Bartın ve Kastamonu yöresi doğu kayını ormanlarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi

Şükrü Teoman Güner ^{1*}, Eren Gürsoy Özdemir ², Aydın Çömez ³, Sevgi Kaya ¹

¹Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Ulus, Bartın, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Ulus, Bartın, Türkiye

³Orman Genel Müdürlüğü, Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Urla, İzmir, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 10/12/2024

Kabul Tarihi: 14/03/2025

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1599059>

*Corresponding author:

stguner@bartin.edu.tr

ÖZ

Giriş ve amaçlar Kyoto protokolü gereği taraf ülkeler her yıl ulusal envanter raporlarını Tarım, Ormancılık ve Arazi Kullanımı (AFOLU) kılavuzuna göre hazırlayarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi sekreteryasına sunmaktadır. Ancak daha hassas bildirimlerde bulunmak için ülkelerin kendi ağaç türlerine özgü katsayıları üretmesi gerekmektedir. Bu çalışma, Bartın ve Kastamonu yöresi doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarında ağaç

bileşenlerinin karbon yoğunluğu ile toprak üstü ve toplam ağaç kütlelerine ait ağırlıklı karbon yoğunluklarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Yöntemler Örneklemeler dört gelişim çağı [a (d1,3<8 cm), b (d1,3=8-19,9 cm), c (d1,3=20-35,9 cm) ve d (d1,3 ≥36 cm)] ve her gelişim çağından dört adet olmak üzere toplam 16 alandan yapılmıştır. Örneklem alanlarının farklı yetiştirme ortamlarını temsil etmesine özen gösterilmiştir. Öncelikle örneklem alanlarının yetiştirme ortamı özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra her örneklem alanında baskın durumda olan üç ağaçtan yaprak, dal, odun, kabuk ve kök örnekleri alınmıştır. Laboratuvar ortamında örneklem alanlarından alınan ağaç bileşenlerine ait örneklerde karbon analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

Bulgular Karbon yoğunluğu meşcere gelişim çağı ve ağaç bileşenleri arasında önemli farklılıklar göstermiştir ($P<0,05$). Karbon yoğunluğu d çağındaki meşcerelerde daha yüksek düzeyde (%50,27) bulunmuştur. Karbon yoğunluğu ağaç bileşenleri arasında en düşük kabukta (%47,99), en yüksek ise yaprakta (%50,50) bulunmuştur. Doğal doğu kayını ormanları için ağırlıklı karbon yoğunluğu toprak üstü ağaç kütleleri için %49,15, toplam ağaç kütleleri için ise %49,27 olarak hesaplanmıştır.

Sonuçlar Elde edilen veriler, doğu kayını ormanlarında gerek ağaçlarda gerekse ağaçların farklı bileşenlerinde depolanan karbon stoklarının hesaplanmasında, ölü örtü ayrışma süreçlerinin izlenmesinde ve yönetiminde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: *Fagus orientalis*, iklim değişikliği, karbon içeriği

Araştırma Makalesi

Changes in carbon concentration of tree components for oriental beech forests in Bartın and Kastamonu Region

ABSTRACT

Background and aims According to the Kyoto Protocol, countries must submit annual national inventory reports to the UNFCCC Secretariat, following AFOLU sector guidelines. For accurate reporting, coefficients specific to native tree species must be developed. This study aims to determine the carbon ratios of tree components and the weighted carbon ratios of aboveground and whole tree biomass in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Bartın and Kastamonu regions.

Methods Sampling was conducted across four developmental stages [young (dbh < 8 cm), middle-aged (8–19.9 cm), mature (20–35.9 cm), and overmature (≥36 cm)], with four sample plots per stage, totaling 16 plots. Site conditions were selected to reflect variability. In each plot, three dominant trees were sampled. Leaves, branches, wood, bark, and root samples were collected and analyzed in the laboratory for carbon concentration. The data were evaluated using analysis of variance and Duncan's multiple comparison test.

Results Carbon concentrations varied significantly among developmental stages and tree components ($P<0.05$). Overmature stands had the highest carbon concentration (50.27%). Among components, bark had the lowest (47.99%) and leaves the highest (50.50%). Weighted carbon concentrations were 49.15% for aboveground biomass and 49.27% for whole tree biomass.

Conclusions These findings provide species-specific carbon coefficients for oriental beech and support more precise carbon stock estimations. The results are also valuable for monitoring and managing litter decomposition in these forest ecosystems.

Key Words: *Fagus orientalis*, climate change, carbon content

Bu makaleye atf:

Güner, Ş.T., Özdemir, E.G., Çömez, A., Kaya, S., 2025. Bartın ve Kastamonu yöresi doğu kayını ormanlarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(1), 38-44.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Küresel ısınmaya yol açan atmosferik sera gazları arasında karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot oksit (N₂O), ozon (O₃), su buharı (H₂O), hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar (PFC) ve kükürtheksaflorid (SF₆) gibi gazlar yer almaktadır. Bu gazlar içerisinde, iklim değişikliği üzerindeki etkisi en belirgin olan karbondioksittir. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğundaki artış, küresel iklim değişikliğinin başlıca nedeni olarak görülmektedir (Lackner ve ark., 2022). Bitkiler (ağaçlar, çalılar, otlar vb.) atmosferdeki karbondioksiti fotosentez yoluyla emer. Bu süreçte bitkiler, güneş ışığını kullanarak karbondioksiti organik maddeye dönüştürür. Bu organik madde, bitkiler için bir enerji kaynağı olarak hizmet eder ve bir karbon rezervuarı işlevi görerek atmosferik karbon döngüsünü etkiler (Amoo ve Fagbenle, 2020; Chaudhry ve ark., 2020). Atmosferdeki CO₂ seviyesinin azaltılmasında en etkili yöntemlerden biri, önemli karbon yutakları arasında yer alan orman alanlarının genişletilmesidir. Ormanların karbon yutak kapasitesini değerlendirebilmek ve karbon bilançosunu izleyebilmek için, orman tipi ve ağaç türü gibi karbon tutulumunu etkileyen faktörlerin dikkate alınarak detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, bölgesel ve küresel ölçekte orman alanlarının doğru bir şekilde envanterinin çıkarılması, izlenmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadelede karbon yutak alanlarını artırmak için kritik öneme sahiptir (Dixon ve ark., 1994). Bunun yanı sıra, ağaç türlerine yönelik daha doğru karbon hesaplamaları yapabilmek için, ilgili türün ağaç bileşenleri ve karbon içeriklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Yine ağaç bileşenlerinin karbon yoğunluklarının belirlenmesi, ölü örtü ayrışma süreçlerinin izlenmesine ve yönetimine de katkı sağlamaktadır.

Küresel iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla yapılan uluslararası anlaşmalar, ülkeleri karbon emisyonlarını ve karbon havuzlarını raporlama yükümlülüğü altına sokmuştur. Ülkeler arasında envanter verilerinin karşılaştırılabilirliğini sağlamak için, orman ekosistemlerindeki yıllık karbon stok değişiminin hesaplanmasıyla ilgili ayrıntılı bir açıklama sunan Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı (AFOLU) kılavuzu geliştirilmiştir (IPCC, 2023). Orman ekosistemlerindeki karbon stoklarının yıllık değişimini hesaplamaya yönelik detaylı bir açıklama sunan bu kılavuz, orman ekosistemlerindeki karbon havuzlarını; yerüstü ve yeraltı biyokütlesi, ölü organik madde (ölü odun ve döküntüler) ve toprak bulunan organik karbon gibi farklı bileşenlere dayalı olarak üç ana karbon havuzuna ayırmaktadır. Ayrıca, kılavuz, bu havuzlardaki hesaplamalar için kullanılacak iklim zonları, orman tipleri ve ağaç türleri açısından bazı ampirik katsayılar sunmuş, ancak daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla bu katsayıların yerel düzeyde, ağaç türlerine dayalı yapılan araştırmalarla belirlenmesini önermiştir. (IPCC, 2003; IPCC, 2006; IPCC, 2023). Nitekim araştırmalar karbon rezervuarlarındaki karbon konsantrasyonlarının çevresel faktörler, ağaç türleri ve ağaç bileşenlerine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Laiho ve Laine, 1997; Lamlo ve Savidge, 2003; Bert ve Danjon, 2006; Thomas ve Malczewski, 2007).

Türkiye'nin orman varlığı, 2020 yılı verilerine göre 22,9 milyon ha olup, doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) 1,9

milyon hektarlık (ha) yayılışıyla ülke ormanlarının %8,2'sini oluşturmakta ve yapraklı türler içerisinde yayılış alanı bakımından meşeden (*Quercus ssp.*) sonra ikinci sırada yer almaktadır (OGM, 2021). Dolayısıyla doğu kayını, üzerinde araştırma yapılması gereken öncelikli türlerden biridir. Anavatani Türkiye olan doğu kayını dünya üzerindeki yayılışını Bulgaristan, Romanya, Yunanistan, Kırım, Kafkasya ve Kuzey İran'da sürdürmektedir. Türkiye'deki en geniş yayılışını Karadeniz sahiline paralel uzanan dağların orta ve yüksek kesimlerinde ve özellikle kuzey bakılarda kurduğu saf ve karışık ormanlarda göstermektedir. Marmara, Orta Anadolu ve Doğu Akdeniz Bölgelerinde de yer yer görülür. Doğu kayını rutubetçe zengin, yağışın dengeli olduğu ılıman iklime sahip bölgelerde yayılış göstermektedir (Atalay, 1992; Anşın ve Özkan, 1997). Karadeniz Bölgesi'nin doğu, orta ve batı bölümlerinde iklim, topografik yapı ve anakaya-toprak özelliklerindeki farklılıklara bağlı olarak çeşitli orman toplumları görülmektedir. Kayın, Batı Karadeniz Bölümü'nde 800 m'den itibaren yayılış gösterirken, Orta Karadeniz Bölümü'nde 1000 m'den itibaren görülmektedir (Atalay ve Mortan, 1997).

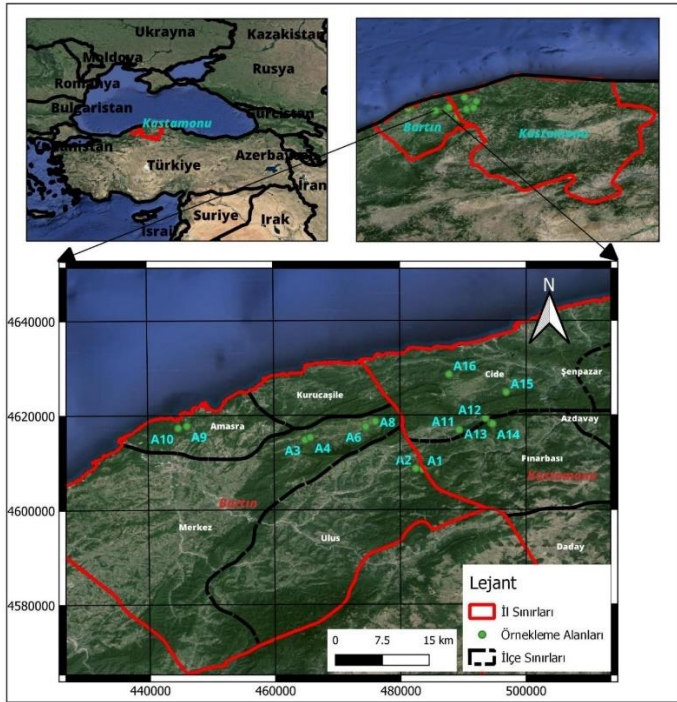
Türkiye'deki doğu kayını ormanlarında ağaç bileşenleri kütlesi ve karbon yoğunluklarının ortaya koyulduğu çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan toprak üstü biyokütle, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki doğu kayını ormanlarında Saraçoğlu (1998) ve Erkut (2013) tarafından, Orta Karadeniz Bölgesindeki (Sinop) doğu kayını ormanlarında ise Kahyaoğlu (2017) tarafından belirlenmiştir. Güner ve ark. (2010) ise Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki (Artvin) genç doğu kayını ormanlarında hem toprak üstü hem de toprak altı biyokütleyi ortaya koymuşlardır. Yine bazı araştırmacılar Karadeniz Bölgesi'ndeki doğu kayını ormanlarında toprak altı biyokütle miktarlarını da belirlemişlerdir (Tufekcioglu ve ark., 2005; Mısır ve Mısır, 2013; Özbayram ve Güvendi, 2016). Genel olarak bu çalışmalar, Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yapılmıştır. Ancak çalışmamızın, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yapılmış olması, toprak üstü ve tüm ağaç kütlesine ait ağırlıklı karbon yoğunluğunu ortaya koyması bakımından mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır.

Bu çalışma, Bartın ve Kastamonu yöresindeki doğu kayını ormanlarında, ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunlukları ile toprak üstü ve toplam ağaç kütlesine ait ağırlıklı karbon yoğunluklarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Araştırma alanının tanıtımı

Araştırma, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Küre Dağlarındaki (Bartın, Kastamonu) doğu kayını ormanlarında yürütülmüştür. Araştırma alanı 41° 52' 35" - 41° 37' 27" kuzey enlemleri ile 33° 13' 04" - 32° 29' 27" doğu boylamları arasında yer almakta olup (Şekil 1), Serengil (2018) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre Euxine-Colchic yapraklı orman ekzonunda bulunmaktadır.



Şekil 1. Araştırma alanının konumu

Araştırma sahasındaki ana materyal büyük oranda başta Kretase olmak üzere, Eosen ve Triyas yaşlı fliş birliklerinden oluşmaktadır. Yaygın toprak tipi ise FAO/UNESCO toprak sınıflandırma sistemine göre grup: luvisol/kambisol, alt grup: ötrik kambisol/humik kambisol'dür (Ünal, 2023). Araştırma alanına en yakın mesafede bulunan Bartın meteoroloji istasyonunun (30 m) 1961-2024 yıllarını kapsayan verilerine göre yıllık toplam yağış 1063 mm, yıllık ortalama sıcaklık 12,9 °C, yıllık ortalama yüksek sıcaklık 19,2 °C'dir (MGM, 2025). Bartın meteoroloji istasyonu verilerinin enterpole edilen (sıcaklık değerleri her 100 m'de 0,5 °C azaltılmış, yağış değerleri ise her 100 m'de yıllık yağışa 54 mm ilave edilmiştir) değerlerine göre araştırma alanının Erinç yöntemine göre iklimi çok nemli (Im=69-110)'dir (Erinç, 1965). Örneklem alanlarında bulunan hâkim ağaç türü doğu kayını olup, bu türe *Vaccinium arctostaphylos* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Huds, *Acer trautvetteri* Medw., *Daphne pontica* subsp. *pontica* L., *Rubus hirtus* Waldst. & Kit., *Rhododendron ponticum* L., *Dioscorea communis* (L.) Caddick & Wilkin, *Sambucus nigra* L., *Ruscus hypoglossum* L., *Acer hyrcanum* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *hyrcanum* türleri eşlik etmektedir (Tunçkol ve ark., 2020).

2.2 Örneklem yöntemi

Örneklemeler 4 gelişim çağı [a (d1,3<8 cm), b (d1,3=8-19,9 cm), c (d1,3=20-35,9 cm) ve d (d1,3 ≥36 cm)] ve her gelişim çağından dört adet olmak üzere toplam 16 alandan yapılmıştır. Örneklem alanları 20×20=400 m² büyüklüğünde alınmıştır. Örneklem alanların eğimi klizimetre, yükseltisi altimetre, bakışı ise pusula ile belirlenmiştir. Yamaç konumu, yamacın sırt çizgisi ile etek kısmı arasındaki yamaç uzunluğu 100 birim kabul edilmiş, yamaç üst kenarından olan ortalama uzaklık yamaç uzunluğunun yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

Örneklemeler ağaçlar tamamen yapraklandıktan sonra temmuz-ağustos ayları arasında yapılmıştır. Her örneklem alanında, hâkim tabakada yer alan üç fertten yaprak, dal, odun, kabuk ve kök örnekleri alınmıştır. Yaprak örnekleri, tepe tacının dört yönünden yerden yaklaşık 7 m yükseklikten makas yardımıyla eşit miktarda alınmış ve karıştırılmıştır. Dal örnekleri, yaprak örneği almak için kesilen dallardan (Ø≤5 cm) alınmıştır. Odun ve kabuk örnekleri, örnek ağaçların göğüs yüksekliğinden artım burgusu ile alınmıştır. Kök örnekleri ise örneklem yapılan ağaçların dip kısmında kazma ile açılan kesitten, çapı ≤ 5 cm olan kökler seçilerek toplanmıştır. Alınan örnekler yıkanarak topraklarından arındırılmış ve diğer örneklerle birlikte laboratuvara taşınmıştır.

2.3 Laboratuvar analizleri

Araziden alınan ağaç bileşenlerine (yaprak, dal, odun, kabuk, kök) ait örnekler (16 örnek alan × 5 bileşen = 80 örnek) laboratuvarında 65 °C'de sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş ve ardından öğütülerek analiz için hazırlanmıştır. Ağaç bileşenlerine ait örneklerin karbon yoğunlukları, LECO CNH TruSpec elementer analiz cihazı (Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA) kullanılarak belirlenmiştir.

2.4 Değerlendirme

Ağırlıklı karbon yoğunluğu hesaplamaları için gerekli olan ağaç bileşenleri kütlelerinin, toprak üstü ve tüm ağaç kütlelerine oranları, Erkut (2013)'a göre yapılmıştır. Tüm ağaç kütlelerinin hesaplanmasında r/s oranı 0,24 olarak alınmıştır (IPCC, 2006).

Toprak üstü ve tüm ağaç kütlelerine ait ağırlıklı karbon yoğunluklarının belirlenmesinde Eşitlik 1 kullanılmıştır (Erkan ve Güner, 2018).

$$wcc = \sum \left(\frac{ccc_i \times cb_i}{100} \right) \quad (1)$$

Eşitlikte; wcc: toprak üstü veya tüm ağaç kütlelerine ait ağırlıklı karbon yoğunluğunu (%), ccc: karbon yoğunluğunu (%), i^{th} : ağaç bileşenlerini, cb_i : bileşenlere ait kütlelerin toprak üstü veya tüm ağaç kütlelerine oranını (%) ifade etmektedir.

Veri setlerinin normal dağılımı Shapiro-Wilk, varyansların homojenliği ise Leneve testi ile kontrol edilmiştir. Tüm veriler normal dağılım ve homojen varyans göstermiştir. Daha sonra ağaç bileşenlerinin karbon yoğunlukları arasındaki farklılıklar varyans analizi ve Duncan testi ile belirlenmiştir. Sonuçlar $\alpha=0,05$ düzeyinde istatistiki olarak farklı kabul edilmiştir. İstatistik analizlerde SPSS paket programı kullanılmıştır (SPSS, 2015).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Örneklem alanlarının bazı meşcere ve yetiştirme ortamı özellikleri

Örneklem alanlarına ait bazı meşcere ve yetiştirme ortamı özellikleri incelendiğinde, örneklem alanlarının 11-128 yaşlar ve 2,5-53,8 cm çaplar ile 342-992 m yükseltiler arasında yer aldığı görülmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Örneklem alanlarına ait bazı meşcere ve yetişme ortamı özellikleri

Örneklem alanı	Meşcere tipi	Yaş	Göğüs çapı (cm)	Grid zonu	Enlem	Boylam	Bakı (°)	Yamaç konumu (%)	Yükselti (m)
1	Knc3	78	28,6	36T	483577	4608575	KB (315)	ÜY (3)	992
2	Kna3	14	3,8	36T	482478	4608709	KD (45)	ÜY (3)	948
3	Kncd3	80	26,7	36T	464911	4614786	D (90)	AY (76)	342
4	Knbc3	49	13,7	36T	465749	4615293	GB (225)	OY (58)	357
5	Knbc3	54	15,3	36T	474443	4617539	KB (315)	OY (53)	424
6	Knbc3	51	15,0	36T	474556	4617561	B (270)	ÜY (20)	467
7	Knc3	70	24,8	36T	476076	4618722	GD (135)	OY (55)	681
8	Knbc3	30	13,1	36T	476074	4618647	G (180)	OY (58)	711
9	Knc3	71	29,0	36T	446200	4617761	GD (135)	ÜY (12)	372
10	Kna3	25	5,7	36T	444812	4617334	GD (135)	ÜY (5)	439
11	Kna3	17	4,1	36T	489360	4616855	KD (45)	OY (65)	647
12	Kna3	11	2,5	36T	493540	4619318	B (270)	OY (62)	774
13	Knd3	128	53,8	36T	494486	4618227	B (270)	OY (31)	908
14	Knd3	90	36,6	36T	494660	4618115	KB (315)	ÜY (11)	959
15	Knd3	109	39,8	36T	496827	4624823	K (0)	OY (42)	656
16	Knd3	105	38,8	36T	487768	4628604	B (270)	ÜY (15)	523

ÜY: üst yamaç (%1-25), OY: orta yamaç (%26-75), AY: alt yamaç (%76-100), K: kuzey, KD: kuzey doğu, KB: kuzey batı, D: doğu, G: güney, GD: güney doğu, GB: güney batı, B: batı

3.2 Ağaç bileşenlerinin karbon yoğunlukları

Ağaç bileşenlerinin karbon yoğunluklarına ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2’de, varyans analizi sonuçları Çizelge 3’te, Duncan testi sonuçları ise Şekil 2 ve 3’te verilmiştir. Karbon yoğunluğu meşcere gelişim çağları ($P=0,004$) ve ağaç bileşenleri ($P=0,000$) arasında istatistiksel bakımdan önemli farklılıklar göstermiştir (Çizelge 3). Yine meşcere gelişim çağı $\times$ ağaç bileşenleri etkileşimini de anlamlı bulunmuştur ($P=0,021$, Çizelge 3). Yani, ağaç bileşenlerinin karbon yoğunlukları meşcere gelişim çağlarına göre önemli farklılıklar göstermiştir (Şekil 4). Karbon yoğunluğu d gelişim çağındaki meşcerelerde daha yüksek düzeyde (%50,27) bulunmuş olup, a, b ve c gelişim çağlarında bulunan meşcerelerin karbon yoğunlukları arasında ise anlamlı bir farklılık belirlenememiştir (Şekil 2).

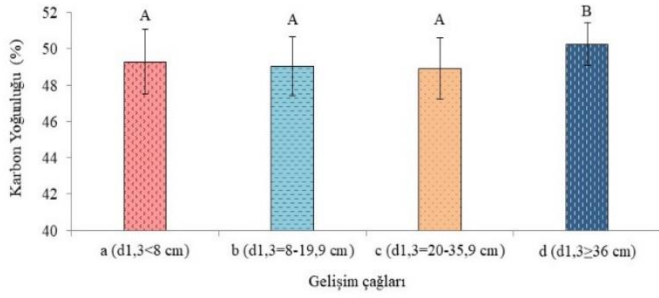
Karbon yoğunluğu ağaç bileşenleri arasında en düşük kabukta (%47,99) bulunmuştur (Çizelge 2, Şekil 3). Keza, Erkut (2013) tarafından Doğu Karadeniz Bölgesi’nde (Giresun) yapılan çalışmada, karbon yoğunluğu ağaç bileşenleri arasında en düşük kabukta (%45,64) bulunmuştur. Yine, Orta Karadeniz Bölgesi’nde (Sinop) yapılan başka bir çalışmada (Kahyaoğlu, 2017), kabuk karbon yoğunluğu %46,70 olarak belirlenmiş olup, elde edilen bu değerler araştırma bulgularımızdan bir miktar düşüktür. Bu farklılığın yetişme ortamı özellikleri ile meşcere gelişim çağları veya bölgeler arasındaki farklılıktan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Zira, ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluğunun yetişme ortamı özelliklerine (Erkan ve Güner, 2018; Güner, 2019) ve meşcere gelişim çağlarına (Çömez, 2012; Makineci ve ark., 2015; Güner ve Çömez, 2017; Karataş ve ark., 2017) göre önemli farklılıklar gösterdiği bildirilmektedir.

Çizelge 2. Ağaç bileşenlerinin karbon yoğunluklarına (%) ait bazı istatistikler

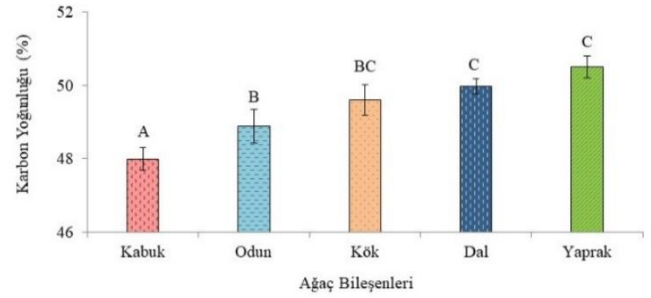
Ağaç Bileşenleri	Ortalama	En düşük	En yüksek	Standart sapma
Yaprak	50,50	47,32	52,82	1,23
Dal	49,97	48,08	50,92	0,85
Odun	48,88	45,69	51,71	1,85
Kabuk	47,99	44,37	49,26	1,28
Kök	49,60	46,19	51,29	1,64
Ağırlıklı ortalama (Toprak üstü)	49,15			
Ağırlıklı ortalama (Tüm ağaç)	49,27			

Çizelge 3. Karbon yoğunluklarının gelişim çağlarına ve ağaç bileşenlerine göre değişimine ait varyans analizi sonuçları

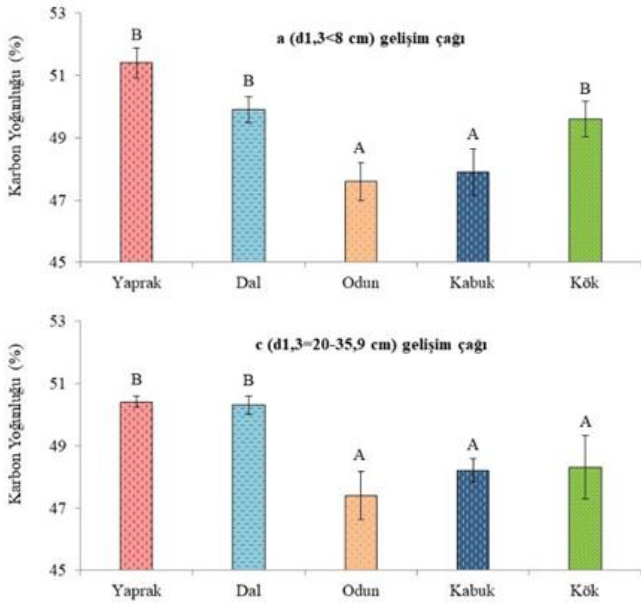
Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	dF	Kareler ortalaması	F	P
Gelişim çağı (GÇ)	22,051	3	7,350	4,970	0,004
Ağaç bileşenleri (AB)	61,187	4	15,297	10,342	0,000
GÇ $\times$ AB	39,636	12	3,303	2,233	0,021
Hata	88,743	60	1,479		
Toplam	211,617	79			



Şekil 2. Gelişim çağına ait ağırlıklı karbon yoğunluğu ortalaması ± standart hataları. Aynı harflerle işaretlenen ortalamalar Duncan ortalamaları ayırma testine göre $\alpha=0,05$ düzeyinde birbirlerinden farklı değildir.



Şekil 3. Ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluğu ortalaması ± standart hataları. Aynı harflerle işaretlenen ortalamalar Duncan ortalamaları ayırma testine göre $\alpha=0,05$ düzeyinde birbirlerinden farklı değildir.



Şekil 4. Gelişim çağına göre ağaç bileşenlerinin karbon yoğunluğu ortalaması ± standart hataları. Her grafik içerisindeki aynı harflerle işaretlenen ortalamalar Duncan ortalamaları ayırma testine göre $\alpha=0,05$ düzeyinde birbirlerinden farklı değildir.

Ağaç bileşenleri arasında karbon yoğunluğu en yüksek yaprakta (%50,5) bulunmuştur (Çizelge 2; Şekil 3). Doğu kayınında yaprak karbon yoğunluğuna ilişkin bu oran Sinop'ta %46,0 (Kahyaoglu, 2017), Giresun'da %46,46 (Erkut, 2013) olarak belirlenmiştir. Araştırmamızda dal odunu karbon yoğunluğu (%49,97) ile yaprak karbon yoğunluğu arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Doğu kayınında dal odunu karbon yoğunluğuna ilişkin bu oran Sinop'ta %47,20 (Kahyaoglu, 2017), Giresun'da %47,71 (Erkut, 2013) olarak belirlenmiştir. Yaprak ve dal karbon yoğunluğuna ait bulgular genel olarak değerlendirildiğinde araştırma bulgularımızın diğer çalışmalardan daha yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Bu durumun yetişme ortamı özellikleri ile örneklem zamanı ve örneklem yöntemleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, ağaç bileşenleri arasında en önemli karbon havuzu olan gövde odununun karbon yoğunluğu %48,88 bulunmuştur (Çizelge 2; Şekil 3). Doğu kayınında gövde odunu karbon yoğunluğu Sinop'ta %47,8 (Kahyaoglu, 2017), Giresun'da %46,15 (Erkut, 2013) olarak belirlenmiştir. Gövde odununun karbon yoğunluğuna ait bulgularımızın diğer

çalışmalardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Araştırmamızda kök karbon yoğunluğu %49,6 bulunmuştur (Çizelge 2; Şekil 3). Trabzon'da doğu kayını üzerine yapılan bir çalışmada, kök karbon yoğunluğu %20,1-41,6 arasında bulunmuştur (Mısır ve Mısır, 2013). Kök odunu karbon yoğunluğuna ait bu bulguların araştırma bulgularımızdan oldukça düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Gövde ve kök odunu karbon yoğunluğuna ait bu farklılıkların büyük oranda yetişme ortamı özellikleri arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.3 Ağırlıklı karbon yoğunluğu

Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki doğu kayını ormanları için ağırlıklı karbon yoğunluğu toprak üstü ağaç kütlesi için %49,15, tüm ağaç kütlesi için %49,27 olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'de farklı ağaç türleri üzerinde yapılan çalışmalarda, tüm ağaç kütlesine ait ağırlıklı karbon yoğunluğu, doğal sarıçam ormanları için %52,46 (Çömez, 2012) ve %52,37 (Erkan ve Güner, 2018); Kazdağı göknarı ormanları için %52,15 (Güner, 2019); karaçam ağaçlandırmaları için %53,86 (Güner ve Çömez, 2017); Toros sediri ağaçlandırmaları için %51,27

(Karataş ve ark., 2017); fıstık çamı ağaçlandırmaları için %50,32 (Tolunay ve ark., 2017); sahil çamı ağaçlandırmaları için %51,44 (Güner ve ark., 2019); doğal fıstık çamı ormanları için %54,07 (Tunçkol ve Güner, 2022) ve kızılçam ormanları için ise %51,77 (Güner ve Çömez, 2022) olarak belirlenmiştir.

AFOLU kılavuzu, karbon envanter raporlamalarında türlere özgü bir araştırma bulunmaması durumunda, yapraklı türler için karbon yoğunluğunun %48 olarak alınmasını önermektedir (IPCC, 2006). Öte yandan, gövde odunu dışındaki ağaç bileşenlerinin karbon yoğunlukları, birçok ormancılık sektörü karbon bütçesi hesaplamalarında dikkate alınmamaktadır. Ancak, önceki çalışmalar (Çömez, 2012; Güner ve Çömez, 2017; Güner ve Çömez, 2022) ve bu araştırmanın bulguları, ağaç bileşenlerinin karbon yoğunluklarının birbirinden oldukça farklı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, ağaç bileşenlerinin ağırlıklı karbon yoğunlukları dikkate alınarak bulunan katsayılar, daha hassas bir hesaplama sağlayacaktır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki doğu kayını ormanlarında karbon yoğunluğunun meşcere gelişim çağlarına ve ağaç bileşenlerine göre önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Karbon yoğunluğu, d çağındaki meşcerelerde en yüksek düzeyde (%50,27) bulunmuştur. Ağaç bileşenleri arasında ise en düşük karbon yoğunluğu kabukta (%47,99), en yüksek karbon yoğunluğu ise yaprakta (%50,50) tespit edilmiştir. Doğal doğu kayını ormanları için ağırlıklı karbon yoğunluğu, toprak üstü ağaç kütlesi için %49,15, tüm ağaç kütlesi için ise %49,27 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, doğu kayını üzerine diğer bölgelerde yapılan araştırma sonuçlarından farklılık göstermektedir. Daha güvenilir bir karbon envanteri oluşturulabilmesi için, ağaç türlerinin karbon içeriklerinin yöresel araştırmalarla belirlenmesi, tüm ağaç için kullanılacak ağırlıklı karbon yoğunluklarının hesaplanması ve karbon hesaplamalarında ağaç bileşenlerinin kütle oranlarının dikkate alınması önerilmektedir. Çalışmanın bulguları, doğu kayını ormanlarının karbon depolama kapasitesinin değerlendirilmesinde ve iklim değişikliği ile mücadelede yönelik yaklaşımların geliştirilmesinde önemli bir temel sunmaktadır.

Teşekkür

Bu araştırma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından "Batı Karadeniz Bölgesindeki doğu kayını ormanlarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi (1919B01222516)" isimli proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

Amoo, L.M., Fagbenle, R.L., 2020. Climate change in developing nations of the world, In: R.O. Fagbenle, O.M. Amoo, S. Aliu, A. Falana (Eds.), Applications of heat, mass and fluid boundary layers, Woodhead Publishing, pp. 437–471.

Anşın, R., Özkan, Z.C., 1997. Spermatophyta (Tohumlu Bitkiler). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No. 167, Trabzon.

Atalay, İ., 1992. Kayın Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Transfer Yönünden Bölgelere Ayrılması. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Atalay, İ., Mortan, K., 1997. Türkiye Bölgesel Coğrafyası. İnkılap Yayınevi, İstanbul.

Bert, D., Danjon, F., 2006. Carbon concentration variation in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). Forest Ecology and Management, 222, 279-295.

Chaudhry, S.M., Ahmed, R., Shafiullah, M., Huynh, T.L.D., 2020. The impact of carbon emissions on country risk: Evidence from the G7 economies. Journal of Environmental Management, 265, 110533.

Çömez, A., 2012. Sündiken Dağları'ndaki (Eskişehir) Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi. Orman Toprak ve Ekoloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayını, Eskişehir.

Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263(5144), 185–190.

Erkan, N., Güner, Ş.T., 2018. Determination of carbon concentration of tree components for Scotch pine forests in Türkmen Mountain (Eskişehir, Kütahya) Region. Forestist, 68(2), 87-92.

Erkut, S., 2013. Giresun Orman Bölge Müdürlüğü Akkuş Orman İşletme Müdürlüğü Saf Kayın Meşcerelerinin Ekosistem Bazında Karbon Depolama Kapasitesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.

Erinç, S., 1965. Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayını, İstanbul.

Güner, S., Yagci, V., Tilki, F., Celik, N., 2010. The effects of initial planting density on above- and below-ground biomass in a 25-year-old *Fagus orientalis* Lipsky plantation in Hopa, Turkey. Scientific Research and Essays, 5(14), 1856-1860.

Güner, Ş.T., Çömez, A., 2017. Biomass equations and changes in carbon stock in afforested black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands in Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 26(3), 2368–2379.

Güner, Ş.T., 2019. Changes in carbon concentration of tree components for Kazdağ fir (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) forests. Fresenius Environmental Bulletin, 28(1), 116-123.

Güner, Ş.T., Özel, C., Türkkan, M., Akgül, S., 2019. Türkiye'deki sahilçamı ağaçlandırmalarında ağaç bileşenlerine ait karbon yoğunluklarının değişimi. Ormancılık Araştırma Dergisi, 6(2), 167-176.

Güner, Ş.T., Çömez, A., 2022. Carbon Concentration in Tree Components of Mature *Pinus brutia* Ten. Forests in the Marmara Transition Zone. Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty, 22(3), 193–201.

IPCC. 2003. Good Practise Guidance For Land Use, Land-use Change and Forestry, In: IGES, Eds. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishy, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F., IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html (accessed 17.02.2017).

- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, In: IGES, Japan (Eds.: H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (accessed 04.01.2016).
- IPCC., 2023. Summary for Policymakers. In Core Writing Team, H. Lee, J. Romero (Eds.), Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1-34).
- Kahyaoglu, N., 2017. Sinop Yöresi Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Ormanlarının Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Karataş, R., Çömez, A., Güner, Ş.T., 2017. Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ağaçlandırma alanlarında karbon stoklarının belirlenmesi. Ormancılık Araştırma Dergisi, 4(2), 107-120.
- Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, Y., 2022. Introduction to climate change mitigation and adaptation, In: M. Lackner, B. Sajjadi, W.Y. Chen (Eds.), Handbook of climate change mitigation and adaptation (3rd ed), Springer, pp. 3-21.
- Lamloom, S.H., Savidge, R.A., 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. Biomass and Bioenergy, 25, 381-388.
- Laiho, R., Laine, J., 1997. Tree stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland. Forest Ecology and Management, 93, 161-169.
- Makineci, E., Ozdemir, E., Caliskan, S., Yilmaz, E., Kumbasli, M., Keten, A., Beskardes, V., Zengin, H., Yilmaz, H., 2015. Ecosystem carbon pools of coppice-originated oak forests at different development stages. European Journal of Forest Research, 134(2), 319-333.
- MGM., 2025. Meteorolojik Veri. <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim tarihi: 05 Mart 2025).
- Mısır, M., Mısır, N., 2013. Root biomass and carbon storage for *Fagus orientalis* Lipsky. (Northeastern Anatolia). International Journal of Education and Research, 1(4), 1-8.
- OGM, 2021. Türkiye Orman Varlığı 2020. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Özbayram, A.K., Güvendi, E., 2016. Sinop yöresi doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) meşcerelerinde kalın kök kütlesi ile yetiştirme ortamı ve meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 12(2), 27-33.
- Saraçoğlu, N., 1998. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) biyokütle tabloları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22, 93-100.
- Serengil, Y., 2018. İklim Değişikliği ve Karbon Yönetimi. Tarım/Orman ve Diğer Arazi Kullanımları. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- SPSS, 2015. SPSS 22.0 Guide to Data Analysis. published by Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Thomas, S.C., Malczewski, G., 2007. Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction. Journal of Environmental Management, 85, 659-662.
- Tolunay, D., Makineci, E., Şahin, A. Özturk, A.G., Pehlivan, S., Abdelkaim, M.A., 2017. İstanbul-Durusu Kumul Alanlarındaki Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ve Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.) Ağaçlandırmalarında Karbon Birikimi. TÜBİTAK TOVAG Proje Nu: 114O797, İstanbul.
- Tunçkol, B., Aksoy, N., Çoban, S., Zengin, H., 2020. Diversity and ecology of forest communities in Küre Mountains National Park of Turkey. Bosque, 41(3), 289-305.
- Tunçkol, B., Güner, Ş.T., 2022. Determination of carbon concentration of tree components for stone pine forests in the Marmara Region. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 24(2), 315-323.
- Tufekcioglu, A., Guner, S., Tilki, F., 2005. Thinning effects on production, root biomass and some soil properties in a young oriental beech stand in Artvin, Turkey. Journal of Environmental Biology, 26(1), 91-95.
- Ünal, M., 2023. Bartın Çayı Havzası'nın Toprak Coğrafyası. Gazi Kitabevi. Ankara.