

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SAF KARAÇAM
MEŞCERELERİNİN TOPRAK ÜSTÜ KARBON
DEPOLAMA KAPASİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytaç SERT

EKİM 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SAF KARAÇAM
MEŞCERELERİNİN TOPRAK ÜSTÜ KARBON
DEPOLAMA KAPASİTESİ

Aytaç SERT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ORMAN YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18/09/2024

Tezin Savunma Tarihi : 22/10/2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nuray MISIR

Trabzon 2024

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalında
Aytaç SERT Tarafından Hazırlanan**

**ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SAF KARAÇAM
MEŞCERELERİNİN TOPRAK ÜSTÜ KARBON
DEPOLAMA KAPASİTESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 26 / 09 / 2024 gün ve 2070 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Nuray MISIR

Üye : Prof. Dr. Hakkı YAVUZ

Üye : Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

“Saf ve Karışık Karaçam (*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb)) Doğal Meşcereleri için Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi” isimli 118O311 numaralı TÜBİTAK projesinin bir parçası olan “Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Saf Karaçam Meşcerelerinin Toprak Üstü Karbon Depolama Kapasitesi” adlı bu çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca, yol gösterici tutumlarıyla beni her zaman doğruya yönlendiren, ne zaman umutsuzluğa kapılsam beni cesaretlendirip, motive eden ve her zaman her konuda desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof Dr. Nuray MISIR’a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez aşamamın arazi, laboratuvar ve yazma süreçlerimde kıymetli görüşlerini ve yardımlarını benden esirgemeyen, her konuda destek olan değerli hocam Sayın Prof Dr. Mehmet MISIR’a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Arazi ve laboratuvar aşamamda her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Abdullah YILDIZ’a ve Dr. Moussa Beau-Gars MBOUHOU’ya teşekkür ederim.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü’nde desteklerini esirgemeyen değerli İşletme Müdürleri’ne, İşletme Müdür Yardımcıları’na, İşletme Şeflerine ve personellerine arazi aşamamda yardımlarını benden esirgemedikleri ve misafirperverliklerinden dolayı teşekkür ederim.

Babam Yusuf SERT ve annem Hatice SERT başta olmak üzere aileme ve dostlarıma eğitim ve özel hayatımda bana her zaman güvendiğiniz, her zaman doğru yola yönlendirdiğiniz, maddi ve manevi desteğinizi benden hiçbir zaman esirgemediğiniz için sizlere sonsuz teşekkür ederim.

Aytaç SERT
Trabzon, 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Saf Karaçam Meşcerelerinin Toprak Üstü Karbon Depolama Kapasitesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Nuray MISİR’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/10/2024

Aytaç SERT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Karbon Havuzları.....	2
1.2.1. Atmosfer.....	3
1.2.2. Okyanuslar	3
1.2.3. Karasal Ekosistemler.....	3
1.3. Orman Ekosistemlerinde Karbon Havuzları.....	6
1.4. Karaçam Türüne İlişkin Bilgiler	6
1.5. Çalışmanın Amacı.....	9
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Materyal	11
2.1.1. Araştırma Alanının Tanıtımı	11
2.2. Yöntem.....	13
2.2.1. Gövde Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması	14
2.2.2. Kabuk Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması	15
2.2.3. Dal Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması	16
2.2.4. İbre Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması.....	17
2.2.5. Ağaç Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması.....	18
2.2.6. Karbon Modellerinin Geliştirilmesi	18
2.2.7. Meşcerelerde Depolanan Ağaç Karbon Miktarının Bulunması	19
2.2.8. Ölü Örtü Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması.....	20
2.2.9. Ölü Odun Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması	20

2.2.10. Diri Örtü Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması	21
2.2.11. Meşcerede Depolanan Toplam Toprak Üstü Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi	22
3. BULGULAR	23
3.1. Örnek Alana İlişkin Bulgular	23
3.2. Örnek Ağaçlara İlişkin Bulgular	23
3.3. Ağaç ve Bileşenlerinin Karbon İçeriğine ve Karbon Miktarlarına İlişkin Bulgular	24
3.3.1. Ağaç bileşenlerinin Karbon İçeriklerine İlişkin Bulgular	24
3.3.2. Ağacın ve Ağaç Bileşenlerinin Karbon Miktarlarına İlişkin Bulgular	24
3.4. Karbon Modellerinin Geliştirilmesine İlişkin Bulgular	25
3.5. Karaçam Meşcerelerinin Ağaç Biyokütle Bileşenlerinde Depolanan Karbon Miktarlarına İlişkin Bulgular	27
3.6. Ölü Örtüde Depolanan Karbon Miktarına İlişkin Bulgular	28
3.7. Ölü Odunda Depolanan Karbon Miktarına İlişkin Bulgular	28
3.8. Diri Örtüde Depolanan Karbon Miktarına İlişkin Bulgular	28
3.9. Karaçam Meşcerelerinin Toprak Üstü Karbon Depolama Miktarlarına ilişkin Bulgular	29
4. TARTIŞMA	31
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
6. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ANKARA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ SAF KARAÇAM
MEŞCERELERİNİN TOPRAK ÜSTÜ KARBON DEPOLAMA KAPASİTESİ

Aytaç SERT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nuray MISIR
2024, Sayfa 49

Bu çalışmada, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü saf karaçam meşcerelerinin toprak üstü karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için 31 adet örnek alan ile 207 örnek ağaç alınarak karbon miktarının belirlenmesine yönelik işlemler yapılmıştır.

Arazide alınan örnekler laboratuara getirilmiş ve ürünler fırınlanıp öğütülerek karbon analizi için hazır hale getirilmiştir. Karbon analizi yapılarak içerdikleri karbon miktarları belirlenmiş ve gerekli dönüşümler yapılarak da her bir bileşenin depoladığı karbon miktarı belirlenmiştir. Regresyon Analizi Yöntemi kullanılarak karbon depolama miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki araştırılarak her bir bileşen için karbon modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller yardımıyla da meşcerelerde depolanan karbon miktarları bulunmuştur.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan saf karaçam meşcerelerinde depolanan karbon miktarları ağaç bileşeninde 7,25 ton/ha ile 137,19 ton/ha arasında olup ortalama 55,34 ton/ha, ölü örtüde 0 ton/ha ile 29,77 ton/ha arasına olup ortalama 12,76 ton/ha, ölü odunda 0 ton/ha ile 1,82 ton/ha arasında olup ortalama 0,81 ton/ha, diri örtüde 0 ton/ha ile 0,09 ton/ha arasında olup ortalama 0,04 ton/ha'dır. Toplam toprak üstü karbon depolama miktarı 7,25 ton/ha ile 161,80 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 64,43 ton/ha'dır.

Anahtar Kelimeler: Karaçam, Toprak üstü, Karbon depolama

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF ABOVE-GROUND CARBON STORAGE CAPACITY OF
PURE ANATOLIAN BLACK PINE STANDS OF ANKARA REGIONAL
DIRECTORATE OF FORESTRY

Aytaç SERT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Department
Supervisor: Prof. Dr. Nuray MISIR
2024, Pages 49

In this study, it was aimed to determine the above-ground carbon storage capacity of pure Anatolian black pine stands of Ankara Regional Directorate of Forestry. For this aim, 31 sample plots and 207 sample trees were taken and processes were carried out to determine the amount of carbon.

The samples taken in the field were brought to the laboratory and the products were baked and ground and made ready for carbon analysis. The amount of carbon they contain was determined by carbon analysis, and the amount of carbon stored by each component was determined by making the necessary transformations. Carbon models were developed for each component by investigating the relationship between the amount of carbon storage with breast high diameter using the Regression Analysis Method. With the help of these developed models, the amount of carbon stored in the stands was found

Amounts of carbon stored in pure Anatolian black stands within the borders of Ankara Regional Directorate of Forestry; Living trees are between 7.25 tons/ha and 137.19 tons/ha, with an average of 55.34 tons/ha. litter is between 0,0 tons/ha and 29.77 tons/ha, with an average of 12.76 tons/ha. Dead wood is between 0.0 tons/ha and 1.82 tons/ha, with an average of 0.81 tons/ha, and herbaceous is between 0.0 tons/ha and 0.09 tons/ha, with an average of 0.04 tons/ha. The total amount of above-ground carbon storage varies between 7.25 tons/ha and 161.80 tons/ha, with an average of 64.43 tons/ha.

Key Words: Anatolian black pine, Above-ground, Carbon storage

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Karaçam türüne ilişkin görseller.....	8
Şekil 2.	Karaçamın yayılış alanı (Asli Ağaç Türleri, OGM).....	8
Şekil 3.	Ankara Orman Bölge Müdürlüğü alanı	11
Şekil 4.	Etüv, CHNS-O Elementel Analiz Cihazı	14
Şekil 5.	Gövde karbon miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar.....	15
Şekil 6.	Dalda depolanan karbon miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar	17
Şekil 7.	İbrede depolanan karbon miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar.....	18
Şekil 8.	Ölü odun karbon depolama miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar.....	21
Şekil 9.	Diri örtü karbon depolama miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar	22
Şekil 10.	Karbon depolama miktarları ile göğüs çapı arasındaki ilişkiler	26
Şekil 11.	Topraküstü biyokütle bileşenlerinin karbon içerik yüzdeleri (%).....	29
Şekil 12.	Ankara OBM saf Karaçam meşcerelerinin karbon depolama miktarları (ton/ha)	30
Şekil 13.	Ağaçta depolanan karbon miktarı (ton/ha).....	39
Şekil 14.	Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının gövdesinde depolanan karbon miktarı (kg).....	40
Şekil 15.	Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının dalında depolanan karbon miktarı (kg).....	41
Şekil 16.	Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının ibresinde depolanan karbon miktarı (kg).....	41
Şekil 17.	Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının kabuğunda depolanan karbon miktarı (kg).....	42
Şekil 18.	Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının gövdesinde depolanan karbon miktarı (kg).....	42
Şekil 19.	Karaçam ağaçlarında depolanan depolanan karbon miktarının karşılaştırılması.....	43
Şekil 20.	Karaçam ağacında depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması.....	43

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Orman ekosistemlerindeki karbon havuzları ve temel bileşenleri.....	6
Tablo 2. Örnek alanların meşcere tiplerine göre dağılımı	12
Tablo 3. Ölü örtü, diri örtü ve ölü odun örnekleme sayıları	12
Tablo 4. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımları.....	13
Tablo 5. Karbon modellerinin uygunluğunun denetiminde kullanılan ağaçların çap ve boy dağılımı.....	13
Tablo 6. Örnek alanlara ilişkin kimi istatistiki bilgiler	23
Tablo 7. Örnek ağaçlara ilişkin kimi istatistiki bilgiler	23
Tablo 8. Ağaç bileşenlerinin karbon içeriklerine ilişkin bilgiler	24
Tablo 9. Ağaç ve bileşenlerinin karbon depolama miktarına ilişkin bilgiler.....	25
Tablo 10. Karbon modellerinin Eşlendirilmiş t-testine ilişkin bulgular	27
Tablo 11. Saf karaçam meşcerelerinin ağaçta depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler	27
Tablo 12. Ölü örtüde depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler	28
Tablo 13. Ölü odunda depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler	28
Tablo 14. Diri örtüde depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler	28
Tablo 15. Karaçam meşcerelerinin topraküstünde depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler	29
Tablo 16. Saf Sarıçam ve saf Karaçam meşcerelerinin ağaç biyokütle bileşenlerinin içerdiği karbon miktarları	37
Tablo 17. Tek ağaç bazında karbon depolama miktarlarının karşılaştırılması	40

KISALTMALAR DİZİNİ

AFOLU	: Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
LULUCF	: Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanlar, var oldukları ilk günden itibaren ormanlardan faydalanmışlardır. İlk başlarda sadece barınma ve beslenme amacı ile kullanırken, zamanla gelişen yaşam şartlarından dolayı kullanım amaçları da değişmiştir (Mısır, 2001). Sanayinin gelişmesi, teknolojinin ilerlemesi gibi etkenlerden dolayı ormanlara olan ihtiyaçta giderek artmaktadır. Mobilyadan inşaata, odun dışı ürünlerden hayvancılığa birçok alanda ormanlardan faydalanılmaktadır. Ormanlardan elde edilen ürünlerin dışında ormanların ekosistem dengesini sağlama ve iklim değişikliği ile mücadelede de önemli bir yeri vardır. Ormanlardan sadece insanlar değil hayvanlar, mikroorganizmalar ve bitkiler de faydalanmaktadır. Bu canlılar için barınma ve beslenme ihtiyaçlarını karşılayarak biyoçeşitliliğin devamını sağlamaktadır. Ağaçlar kökleri sayesinde toprağı tutarak erozyonu önlemektedir. Yağan yağmur sularını bitkiler sayesinde tutarak yer altı sularını destekleyerek su döngüsüne de yardımcı olmaktadır. Karbondioksiti emerek oksijen üretmeleri ile de hava kalitesini düzenler. Ağaçlar nem ve sıcaklık dengesini ayarlayarak o bölgede ki iklimi düzenler. Doğa yürüyüşleri, kamp vb. etkinlikler ile sosyal ve kültürel alanda birçok fayda sağlamaktadır.

Ormanların sağladığı birçok faydayı bilinçsiz bir şekilde kullanma, sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte çevre kirliliğine ve ormanlara olan tahribat artmaktadır. Ormanlardaki tahribatlar ve hava kirliliği sonucunda son zamanlarda yeni sorunlarla karşı karşıya kalmaktayız. Bu sorunlardan en büyüğü iklim değişikliğidir (Paustian vd., 2000, Smith vd., 2008., Pirizoğlu, 2019). İklim değişikliği teriminden önce iklimin ne olduğuna bakmamız gerekmektedir. İklim, “bir yöredeki sıcaklık, yağış, bağıl nem gibi meteorolojik parametrelerin uzun dönemli ortalamaları” iken iklim değişikliği ise, “iklimin doğal değişkenliğine ek olarak insan faaliyetlerinin doğrudan veya dolaylı etkisi ile belli zaman aralıklarında iklimin değişmesi” dir (Serengil, 2018).

İklim değişikliği hem doğal süreçlerden hem de insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Kömür, petrol gibi fosil yakıtların kullanımının artması, orman yangınları ve ağaçların kesilmesi ile orman arazilerinin tahribatı, fazla ve yanlış gübre

kullanımı ve toprak işleme gibi yanlış tarımsal uygulamalar, sanayi kuruluşlarının artması ve meteorolojik olaylar gibi süreçler iklim değişikliğinin başlıca nedenleridir.

Bütün bu etkenler sonucunda iklim değişikliği artmaktadır. İklim değişikliğinin etkisinin hızlıca artması birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Sıcaklıkların artması, buzulların erimesi sonucu deniz seviyelerinde yükselmeler, doğal afetlerin artması, kuraklık, su kaynaklarının azalması ve yağışların değişmesi sonucu tarımsal üretimde azalma, turizm alanlarının yok olması sonucu ekonomik kayıpların artması iklim değişikliğinin bazı sonuçlarındandır. Hava kalitesinin düşmesi sonucu yeni hastalıklara davetiye çıkarmaktadır. Bütün bu olumsuz etkilerden belki de en önemlisi bitki ve hayvan türlerinin yayılış alanlarının değişmesi ve bunun sonucunda da nesillerinin yok olmaları tehlikesidir.

Son zamanlarda ise küresel ısınma fikriyle ortaya çıkmış olan ormanların karbon depolaması üzerinde durulmaya başlanmıştır. Küresel ısınma CO₂ ve diğer zararlı gazların yeryüzünü ısıtması olarak açıklanmaktadır (Mısır vd. 2011).

Sanayi devrimi ile birlikte fosil yakıtların kullanımının hızlı biçimde artmasıyla atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu da hızlı bir artış göstermiştir. Ortaya çıkardığı yıkıcı etkilerle iklim değişikliğine neden olduğu ve bunu da insanların kendi elleriyle yapıyor olmasıyla, atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu giderek artmaya devam etmektedir. Sanayi devrimi öncesi 280 ppm düzeyinde olan CO₂ yoğunluğu, bilim insanları tarafından yapılan çalışmalarla 350 ppm üst güvenlik limitini 1988’de aştığı belirlenmiştir (Mısır ve Mısır, 2021). Temmuz 2024’de 421,20 ppm olarak ölçülen değer, Temmuz 2024’de 417,90 ppm olarak ölçülmüş olup 3,3 ppm artmıştır (URL 1, 2024).

1.2. Karbon Havuzları

Karbon havuzları karbonun dünyadaki birikim alanları olarak ifade edilmektedir. Atmosfer, okyanuslar (su yüzeyleri) ve karasal ekosistemler olmak üzere dünyadaki karbon havuzları 3’e ayrılmaktadır (Mısır vd., 2019). Dünyada ki en büyük karbon birikiminin olduğu alanlar okyanuslar olmasına karşın karasal ekosistemler insan etkisinin en çok hissedildiği en önemli karbon havuzudur (Serengil, 2018). Yerüstü karbonunun %80’ini ve yer altı karbonunun da %40’lık kısmını oluşturarak karasal ekosistemler içerisinde en önemli karbon havuzu olan ormanların (Zhao vd., 2021) zaman içerisinde

meydana gelen küresel karbon döngüsündeki yerini ve gelecekteki orman karbon miktarını tahmin etmek iklim değişikliği ile mücadele için çok önemlidir (Seedre vd., 2020).

1.2.1. Atmosfer

Karbon döngüsündeki en önemli rol atmosferdedir. Atmosferde yer alan karbondioksit besin zincirindeki canlılara fotosentez yoluyla aktarılır. Bitkiler, aldıkları karbonun bir kısmını dokularının yapımında kullanırken kalan kısmını ise solunum yolu ile geri atmosfere vermektedir. Daha sonra otçul canlıların bitkileri yemeleri sonucu besin zincirinde ilerler ve bir kısmı da bitkilerin ölmesiyle ayrıştırıcılara geçer. Ayrıştırıcılar ve hayvanlar bitkilerden aldıkları karbonu solunum yoluyla tekrar karbondioksit olarak atmosfere verir. Kalan kısmı ise ayrışarak toprağa geçer (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006, İnce, 2011).

1.2.2. Okyanuslar

Difüzyon aracılığıyla karbon içeren gazlar okyanus yüzeyleri ile atmosfer arasında sürekli hareket halindedir. Sucul bitkilerde fotosentez yapmak için sudaki karbondioksiti kullanırlar ve karbonu karasal bitkiler gibi depolamaktadırlar. Okyanuslarda yaşayan hayvanlar bu bitkilerin bir kısmını yiyerek karbon depolarlar ve solunum yolu ile tekrar karbondioksiti suya bırakırlar. Okyanuslarda yaşayan bitkiler ve canlılar öldüklerinde suda çözünüp okyanus tabanına çökerek burada tortular içine birikir. Okyanus dibinden yüzeye doğru hareket eden sular karbon taşıyarak okyanus yüzeyine çıkarır ve bu sayede okyanus yüzeyindeki karbon atmosfere geçebilir. Karbondioksitin deniz suyundaki çözünme hızı atmosferdeki diğer gazlara göre hızlı olduğundan en büyük karbon rezervleri okyanuslardır (URL 2, 2023).

1.2.3. Karasal Ekosistemler

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli tarafından hazırlanan sera gazı envanter hesaplarında taraf ülkeler tarafından takip edilmesi tavsiye edilen Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği Ve Ormancılık (LULUCF) kılavuzun da karasal ekosistemler (1)

ekili alanlar, (2) çayır ve mera alanları, (3) sulak alanlar, (4) yerleşim alanları, (5) diğer alanlar ve (6) orman alanları olmak üzere 6 gruba ayrılmaktadır (URL 3, 2023).

Karasal ekosistemler içerisinde yer alan ekili alanlar tarım arazisi olarak da adlandırılmaktadır. Tarım arazisi “toprak, topografya ve iklimsel özellikleri tarımsal üretim için uygun olup, hali hazır da tarımsal üretim yapılan veya yapılmaya uygun olan veya imar, ihya, ıslah edilerek tarımsal üretim yapılmaya uygun hale dönüştürülebilen araziler” şeklinde tanımlanmaktadır (Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik, 2017). Bu alanlar ormancılık sistemi dışında yer alan ağaçlık alanları ve tarım arazilerini kapsamaktadır. Yani zeytinlikler, meyve bahçeleri, çay, fındık ve sebze yetiştiriciliği gibi faaliyetlerin olduğu alanlardır (Duyar, 2018). Organik karbon topraklarda uygun şartlar sağlandığında uzun süre depolanabilmektedir. Fakat arazi kullanımı değişikliği ve yoğun toprak işleme sonucunda oluşacak erozyon ile bu alanlarda karbon depolama önemli derecede azalmaktadır (Vurarak ve Bilgili, 2015).

Çayır, “taban suyunun yüksek bulunduğu veya sulanabilen yerlerde biçilmeye elverişli, yem üretilen ve genellikle kuru ot üretimi için kullanılan yer” ve mera ise “hayvanların otlatılması ve otundan yararlanılması için tahsis edilen veya kadimden beri bu amaçla kullanılan yer” olarak tanımlanmaktadır (Mera Kanunu, 1998). Mera alanları sıklıkla durağan olarak görülmekte fakat verimsiz, çölleşmiş meraları marjinal orman alanlarının potansiyel karbon yutakları olan nemli ve yarı nemli mera alanlarına dönüştürülmesi ile karbon Emilimi kaybı azaltılabilir (Schimel vd., 1990, Thornley vd., 1991, Kolanya, 2022). Mera alanlarının aşırı otlatma, yangın ve yanlış arazi kullanımından dolayı zarar görmektedir. Bu alanların korunması, geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla otlatma planları, kullanımı ile ilgili projeler ve planlar gibi önlemler alınarak çayır mera alanlarının korunması karbon emisyonunu azaltmada önemli rol oynamaktadır (Kolya, 2022).

Sulak alanlar “tabii veya suni, devamlı veya geçici, suları durgun veya akıntılı, tatlı, acı veya tuzlu, denizlerin gelgit hareketlerinin çekilme devresinde altı metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan, başta su kuşları olmak üzere canlıların yaşama ortamı olarak önem taşıyan bütün sular, bataklık, sazlık ve turbalıklar ile bu alanların kıyı kenar çizgisinden itibaren kara tarafına doğru ekolojik açıdan sulak alan kalan yerleri” şeklinde tanımlanmaktadır (Sulak Alanların Korunması yönetmeliği, 2014). Sulak alanların işlevlerinden birisi de karbon depolamasıdır. Sulak alanlar atmosferdeki karbondioksiti emebilir ve tortular içinde tutabilmesinden dolayı bu alanlar karbon yutakları olabilir.

Sulak alanlarda yüksek üretkenlik, yüksek su tabakası, ve düşük bozunma hızı, toprak, tortu ve döküntü içinde karbon depolama yapmasına olanak sağlar (Whitting ve Chanton, 2001, Kayranlı vd., 2010, Topaldemir ve Taş, 2022). Bu alanların tarım alanlarına dönüştürülmesi küresel sulak alan karbon döngüsünde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bazı sulak alanlar karbon deposu işlevi görmekteyken bazıları ise karbon sağlayan kaynaklara dönüşmüşler. Bu durum küresel ısınma açısından önemlidir (Korkanç, 2004).

Yerleşim alanları, hangi düzeyde olursa olsun farklı bir kategoriye eklenmedikçe, ulaşım altyapısı olan bütün imarlı arazilerdir (Duyar, 2018). İnsanoğlu yerleşik düzene geçtikten günümüze kadar hızlı ve çarpık kentleşme ile yeşil alanları yok etmektedir. Ayrıca sanayileşmenin artması ve nüfus yoğunluğundan dolayı atmosferdeki zararlı gazlar artmaktadır. Fakat kentleşmenin hızla artmasından dolayı doğal ekosistemlerin yok edilmesi ve yanlış arazi kullanımıdır. Kentsel yaşamlarda ekosistem dengesini koruma ve kullanım dengesinin bozulması kentlerdeki iklim değişikliğine karşı direncin azaltılmasına sebep olmaktadır (Aksoy ve Arslan, 2022).

Diğer alanlar olarak adlandırılan bu alanlar diğer 5 alan içerisinde değerlendirilmeyen çıplak, toprak, kaya, buz ve diğer işletilmeyen tüm arazilerdir (Duyar, 2018). Bu kategoride değerlendirilen alanlar toplamın ülke alanına eşitlenmesi amacıyla bu kategori eklenmiştir ve karbon depolama kapasitesi belirlenmemektedir (Bülbül, 2012).

Orman alanları, karasal ekosistemlerde tutulan karbonun yarısının depolandığı yer olmasından dolayı karbon depolamada çok önemli bir yere sahiptir. BMİDÇS kapsamında genel bir orman alanı tanımı yapılmayıp her ülkenin kendi orman tanımı dikkate alınmaktadır. Her ülke ortak bir tanım etrafında toplanmayıp her ülkenin kendine ait farklı orman tanımları kullanıyor olması uluslararası sözleşmelerde ki karşılaştırılabilirlik ilkesine zarar vermektedir. Ülkemizde ise ulusal sera gazı envanterimiz de ve 6831 sayılı yasamızda yer alan orman tanımı kullanılmaktadır. Ülkemiz de kullanılan orman tanımı ve FRA orman tanımına göre orman alanlarımız farklı çıkmaktadır (Serengil, 2018). Ormanlar, küresel ısınmayla mücadele de önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle mevcut ormanların korunması, bozuk olarak nitelendirdiğimiz ormanlarımızın rehabilitasyonu ve ağaçsız alanların ağaçlandırılması ile ormanlık alanların genişletilmesi sonucunda ulusal ve küresel bazda karbon emisyonları azaltılabilmesi için önemlidir. Sürdürülebilir yönetim, ağaçlandırma ve rehabilitasyon ile ormanlarımızın karbon depolama miktarını arttırabilirken, ormansızlaşma ve yanlış yönetim ile de azaltabilmektedir (Yıldız, 2021).

1.3. Orman Ekosistemlerinde Karbon Havuzları

Okyanuslar ve ormanlar yeryüzünün en önemli 2 karbon havuzudur. Orman ekosistemlerinde karbon havuzları toprak üstü, toprak ve toprak altı olmak üzere 3 ana başlığa ayrılmıştır. Toprak üstü karbon havuzları ağaç, diri örtü, ölü örtü ve ölü odun olmak üzere 4'e ayrılır. Ağaçlar; gövde, dal, yaprak ve kabuklardan oluşmaktadır. Diri örtü, toprak üzerinde yer alan otsu veya çalı formundaki canlı bitkilerden oluşur. Ölü örtü, toprak üzerindeki ince dal, kozalak, ibre, yaprak, kabuk gibi kuru materyallerden oluşmaktadır. Ölü odun ise kuru dal ve gövde parçalarından oluşmaktadır. Toprak bölümünde ise toprak organik maddesi yer almaktadır. Toprak altı bölümünde ise kökler yer almaktadır. Kökler de kalınlıklarına göre 3'e ayrılmaktadır. Kılcal kökler çapı 2 mm'den küçük kökleri, ince kökler çapı 2 ile 5 mm arasında olan kökler ve kalın kökler ise çapı 5 mm'den büyük kökleri kapsamaktadır.

Tablo 1. Orman ekosistemlerindeki karbon havuzları ve temel bileşenleri (Mısır vd., 2012)

Karbon Havuzları	Bileşenleri	Açıklama
Toprak Üstü	Ağaç	Gövde, dal, ibre, yaprak ve kabuktan oluşan canlı kısım
	Ölü Örtü	İnce dal, ibre, yaprak, kozalak, kabuk gibi kuru materyaller
	Diri Örtü	Otsu veya çalı formundaki canlı bitkiler
	Ölü Odun	Kuru dal ve gövde parçalarından oluşan cansız materyaller
Toprak	Toprak	Toprak organik maddesi
Toprak Altı	Kökler	Kılcal (çapı 2 mm'den küçük) İnce (çapı 2-5 mm arasında) Kalın (çapı 5 mm'den büyük)

1.4. Karaçam Türüne İlişkin Bilgiler

Karaçam türünü tanımlayan Latince adı "*nigra*", kara anlamına gelmektedir. Farjon (2010)'a göre karaçam ve sarıçam türlerinin genellikle yan yana bulunması ve bu yüzden aralarındaki renk tonu farklılıklarından kaynaklanmaktadır (URL 4, 2023). Karaçamın güney ve güneydoğu Avrupa ile batı Asya'da Submediterranean bölgelerde geniş coğrafi yayılışına koşut olarak her biri çoğu kez bağımsız ayrı birer tür olarak benimsenen;

Pinus nigra Arm. subsp. *nigra* (Hoess) Badaux

Pinus nigra Arm. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco

Pinus nigra Arm. subsp. *laricio* Suring.

Pinus nigra Arm. subsp. *calabria* Schneid.

Pinus nigra Arm. subsp. *pallasiana* Schneid.

olmak üzere 5 alt türü vardır (Anşin, 1994).

Pinus nigra Arm. subsp. *nigra* (Hoess) Badaux (Avusturya karaçamı) iğne yaprakları düz, 7-18 cm uzunluğunda, yaprak kını 10-16 cm uzunluğundadır ve Avusturya'dan Orta İtalya'ya kadar yayılış göstermektedir. *Pinus nigra* Arm. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco (Pirene karaçamı) iğne yaprakları koyu yeşil ve 1-1.2 mm kalınlığındadır ve Orta ve güney İspanya'da yayılış göstermektedir. *Pinus nigra* Arm. subsp. *laricio* Suring. (Korsika karaçamı) boz mavi-yeşil ve 1.2-1.9 mm kalınlığındaki iğne yapraklara sahiptir ve güney İtalya, Korsika ve Sicilya'da yayılış göstermektedir. *Pinus nigra* Arm. subsp. *calabrica* Schneid. (Kalabriya karaçamı) sert ve 4-7 cm uzunluğunda iğne yapraklara sahiptir ve Yugoslavya'nın kuzeybatı sahilleri ve adalarında yayılış göstermektedir. *Pinus nigra* Arm. subsp. *pallasiana* Schneid. (Anadolu karaçamı) ülkemizde yetişen karaçam türüdür (Yaltırık ve Akkemik, 2011). Doğal yetişme alanları Güney Karpatlar, Kırım, Türkiye, Kıbrıs ve Suriye'dir. Türkiye de ise Karadeniz, Marmara, Ege Bölgeleri ile Toros Dağları ve İç Anadolu bölgelerinde yayılış göstermektedir (Saatçioğlu, 1976; Yaltırık ve Akkemik, 2011).

Anadolu karaçamı Türkiye'de 400 ile 1200 m rakımları arasında 4.199.623 ha'lık alanı ile en geniş yayılıma sahip üçüncü asli türümüzdür (URL 5, 2023).

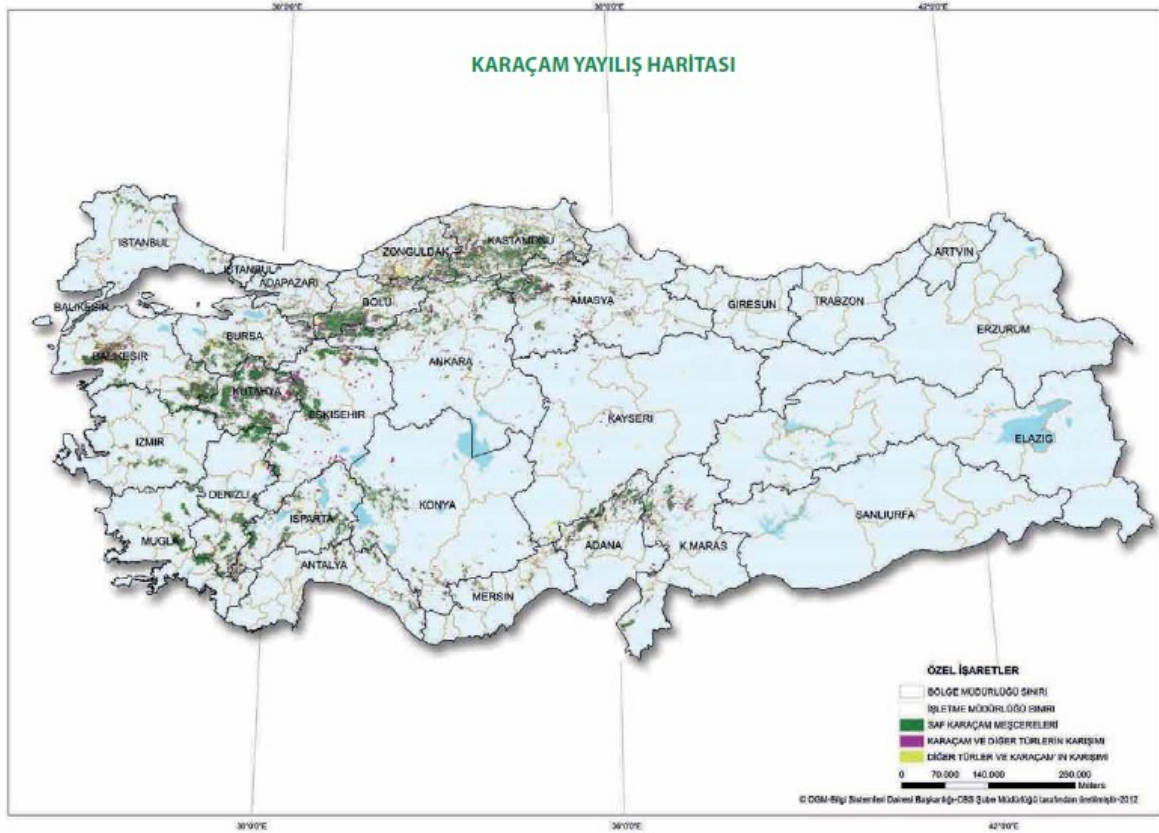
İleri yaşlarda gövdesi derin çatlaklı, kalın ve boz renkli kabuklara sahiptir. Silindirik gövdeye sahip olan karaçam 1 m çap ve 40 m boy yapabilmektedir. Azman yapma eğiliminde olmasına rağmen yüksek rakımlarda ve sık meşcerelerde tepe yapısı dar ve küçüktür. Gençlikte hızlı büyümesine rağmen ileriki yaşlarda büyümesi yavaşlamaktadır. Karaçam derin topraklar da kazık, sık topraklarda kalp kök sistemine sahiptir. Toprak istekleri bakımından kanaatkâr olup nemli, derin, ağır balçık, kumlu balçık ve balçıklı kum topraklarda iyi gelişim göstermektedir. Dona ve kuraklığa dayanıklı olmasına rağmen kar zararlarına karşı dayanıksızdır. Sık topraklarda ve seyrek yetiştiği alanlarda fırtına zarar vermektedir (URL 6, 2023).

4-18 cm uzunluğa sahip olan sürgünleri kalın ve koyu renklidir. Tomurcukların uçları sivri, bol reçineli ve silindirik yapıdadır. Sürgün ucunda yer alan yapraklar tomurcuğa doğru yönelmiş ve bu sayede çanak gibi bir boşluk görünümündedir. İğne yaprakların uçları batıcı, kenarı ince dişli ve hipodermis tabakasının kalın olmasından dolayı serttir. İğne yaprakları yetişme ortamı koşulları ve yaşına göre renk almaktadır.

Yetiştirme ortamı koşulları optimum olduğu bölgelerde koyu yeşil renge sahipken yetiştirme ortamının kötü olduğu bölgelerde ise kısa ve açık renklidir. Boyu 3,5 cm ile 12 cm arasında değişen kozalaklar, parlak saman sarısı renkte, konik, simetrik ve kısa sapa sahiptir. Sert, dayanıklı, reçineli ve iyi kaliteye sahip karaçam odunları yapı malzemesi olarak geçmişten günümüze kullanılmaktadır (Yaltırık, 1988; Yaltırık ve Akkemik, 2011).



Şekil 1. Karaçam türüne ilişkin görseller



Şekil 2. Karaçamın yayılış alanı (URL 7, 2024)

1.5. Çalışmanın Amacı

Küresel ısınma dünyamızın geleceğini tehdit eden en önemli sorunlardan biridir. Küresel ısınma sonucunda ekosistemlerde ortaya çıkan değişimler hayatımızı etkilemeye başlamış durumdadır. Bu etkiler, güneşli ve yağmurlu gün sayısının değişmesi, yağış miktarlarında azalma, ormanlarda kurumalar, buzulların erimesi, deniz seviyesinde yükselmeler ve aşırı sıcaklıklar sayılabilir. Bunların etkilerinin azaltabilmek için sera gazı emisyonlarını azaltmak gerekmektedir. Sera gazı etkisine sebep olan karbondioksit en fazla insan kaynaklı olmaktadır ve bunların azaltılması gerekmektedir. İklim değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması gibi birçok çalışma ile sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir. Bu anlaşmalara taraf olan ülkeler sera gazı salımlarını azaltmak ve depoladıkları karbon miktarlarını bildirmekle yükümlüdürler (Mısır vd., 2019).

Ülkeler ormanlarda depolanan karbon miktarlarını AFOLU ve Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Orman Yönetmeliği'nde (AKAKDO) toplam servet üzerinden çevirme katsayıları kullanılarak hesaplamaktadırlar. Bu hesaplamalarda kullanılan değerler ortalama değerler olduğu için gerçek sonuçtan çok uzak sonuçlar vermektedir. Bu ortalama değerler de ağaç türü yerine ibrelili veya yapraklı tür olması ve verimli veya bozuk ormanlar şeklindedir. Ayrıca bu katsayılar bölgesel değil ulusal bazda belirlenmiştir yani yetişme ortamı koşullarını hesaplamaya dâhil etmeyip tek bir yetişme ortamı varmış gibi düşünülmektedir. Bu yüzden bu değerler hatalı sonuç verecektir. Doğru hesaplama yapmak için son zamanlarda yapılan çalışmalar ile tür bazında karbon modelleri geliştirilmektedir. Bu modellerde yapraklı ibrelili ayrımı yerine tek tek tür ayrımı yapılmaktadır. Yetişme ortamı koşulları da düşünülerek ulusal değil daha küçük bölgeler bazında yapılmaktadır. Ayrıca bu çalışmalarda ormanın verimli ya da boşluklu kapalı olması ayrımı da yapılmaktadır. Son zamanlarda ise saf meşcerelerin yanı sıra karışık meşcerelerle de ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Mısır vd., 2019).

Ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalara bakıldığında; Özkaya (2004), Mısır vd. (2011), Bülbül (2012) doğu ladininde, Tolunay (2009), Çömez (2010) ve Yavuz vd. (2010) sarıçamda, Makineci vd. (2011) Trakya yöresi meşelerinde, Lim (2012) kermes meşelerinde, Mısır vd. (2012), Uludağ göknarında, Jagodzinski (2019) Avrupa göknarında, Erkut (2013), Mısır vd. (2013) ve Kahyaoğlu (2017) doğu kayınında, Sakıcı ve Akyıldız (2016), Çiftçi (2019), Pirizoğlu (2019) ve Öztürk (2019) karaçamda, Kanlı (2022)

dişbudaklar da, Aslan (2023) genç kızılçamalarda, Uri vd. (2012) Güneydoğu Estonya’da huşlarda ve Tang vd. (2012) Tropikal ormanlarda karbon depolama kapasitesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Tat (2022) karaçam, kızılçam, sedir, göknar, karaçam/sedir/göknar ve karaçam/sedir/göknar (tampon zon) da ölü örtü ve ölü odun karbon depolama miktarları üzerine, Almansouri (2022) sarıçam, karaçam ve sarıçam-karaçam karışık meşcerelerinde ölü örtü karbon içeriğini belirleme üzerine çalışma yapmıştır. Yavuz vd. (2010) sarıçam karışık meşcerelerinde ve Öztürk (2022) ve Mbohhou (2023) karaçam kızılçam karışık meşcerelerinde karbon depolama kapasitesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Ayrıca Türkiye’de yer alan saf karaçam ve ağırlıklı karışımlarının karaçam olduğu karaçam-sarıçam, karaçam-kızılçam, karaçam-kayın, karaçam-meşe ve karaçam-sedir meşcerelerinde karbon depolama miktarlarını ekosistem bazında belirlemişlerdir (Mısır vd., 2022).

Bu çalışma kapsamında Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan saf karaçam meşcerelerinde ağaç, gövde, dal, ibre, kabuk biyokütle bileşenleri için karbon modellerin geliştirilmesi, ölü örtü, ölü odun, diri örtü ve saf karaçam meşcerelerinde depolanan karbon miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı olarak Ankara Orman Bölge Müdürlüğü seçilmiştir (Şekil 3). Ankara OBM İç Anadolu bölgesinde yer almaktadır. 38°24'13" ile 41°09'47" kuzey enlemleri ve 29°52'22" ile 30°41'06" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Doğusunda Kayseri OBM ve Amasya OBM, batısında Eskişehir OBM ve Bolu OBM, güneyinde Konya OBM ve kuzeyinde ise Zonguldak OBM ve Kastamonu OBM yer almaktadır. Ankara OBM alanlarının 250 ile 2500 m yükseltileri arasındadır (Ergin, 2022). Ankara OBM'nin 1927-2022 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklığı 12 °C, yıllık ortalama en düşük sıcaklığı 6,3 °C, yıllık ortalama en yüksek sıcaklığı 17,9 °C'dir. En düşük sıcaklık 1942 yılında -24,9 °C ve en yüksek sıcaklık 2012 yılında 41 °C olarak ölçülmüştür. Yıllık yağışlı gün sayısı 103 gün ve yıllık toplam yağış miktarı 391,1 mm'dir. (URL 8, 2023).

Ankara OBM 458.200 hektar normal kapalı ve 333.476 hektar boşluklu kapalı olmak üzere toplam 791.676 hektarlık ormanlık alana ve 3.771571ha ise orman dışı alana sahip olup toplam alanı 4.563.247ha'dır (URL 9, 2023).



Şekil 3. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü alanı

Bu tez çalışmasının verileri 2022 Aralık ayında tamamlanan “Saf ve Karışık Karaçam (*Pinus nigra Arnold. subsp. pallasiana* (Lamb.)) Doğal Meşcereleri için Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi” isimli 118O311 Numaralı TÜBİTAK projesinden alınmıştır. Bu çalışma kapsamında Ankara Orman Bölge Müdürlüğü saf karaçam meşcerelerinin toprak üstü karbon depolama miktarları belirlenmiştir. Bu amaçla 9 farklı meşcere tipinden 31 adet örnek alan alınmıştır. Örnek alanların meşcere tiplerine dağılımı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Örnek alanların meşcere tiplerine göre dağılımı

Meşcere Tipi	Örnek Sayısı	Meşcere Tipi	Örnek Sayısı
Çkb1	3	Çkc2	1
Çkb2	4	Çkc3	4
Çkb3	8	Çkcd2	1
Çkbc2	2	Çkcd3	3
Çkbc3	5	TOPLAM	31

Alınan 31 örnek alanda diri örtü, ölü örtü ve ölü odun örneklemeleri yapılmıştır. Bu örnek alanlar içerisinde 20 adet ölü örtü, 21 adet ölü odun ve 10 adet diri örtü örnekleme yapılabilmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Ölü örtü, diri örtü ve ölü odun örnekleme sayıları

Örnek Adı	Örnek Alan Adedi
Ölü Örtü	20
Ölü Odun	21
Diri Örtü	10

Karaçam ağaçlarında depolanan karbon miktarlarını belirlemek için farklı çap ve boylarda 207 adet örnek ağaç alınmıştır (Tablo 4). Geliştirilen karbon modellerinin uygunluğunun denetimi için 42 adet ağaç kullanılmıştır. Bu ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımları

BOY ÇAP	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	TOPLAM
8	3	1	7										11
12		17	19	6	3	1							46
16	1	5	28	23	7	7	3						74
20			4	12	11	3	9	1					40
24			1		6	5	4	5					21
28					1	1	3	1		1			7
32									1	1	1		3
36								1	1	1	1		4
40													
44												1	1
TOPLAM	4	23	59	41	28	17	19	8	2	3	2	1	207

Tablo 5. Karbon modellerinin uygunluğunun denetiminde kullanılan ağaçların çap-boy dağılımı

BOY ÇAP	5	7	9	11	13	15	17	Toplam
8	2		3					5
12		3	5	3	1			12
16			3	6	6	6	2	23
20							2	2
Toplam	2	3	11	9	7	6	4	42

2.2. Yöntem

Çalışmanın yapılacağı alanları belirleyebilmek için Ankara Orman Bölge Müdürlüğüne ait Amenajman Planları kullanılmıştır. Amenajman Planlarında karaçam meşcerelerinin olduğu alanlar belirlenmiştir ve bu alanlar çalışma alanları olarak seçilmiştir. Çalışma alanlarında toprak üstünde depolanan karbon miktarlarının belirlenebilmesi için örnek alanlar ve örnek ağaçlar alınmıştır. Gerekli ölçümler ve analiz için örnekler toplanıp laboratuara getirilmiştir. Burada gerekli ölçümler yapıldıktan sonra fırınlanıp, gerekli dönüşümler yapılarak biyokütle değerleri bulunmuştur. Bütün örnekler öğütülüp CHNS-O Elementel Analiz Cihazı ile karbon analizi yapılmıştır. Gerekli dönüşüm hesaplamaları yapılarak karbon modelleri ve depolanan karbon miktarları belirlenmiştir. Bütün bu aşamalar detaylı bir şekilde ileriki başlıklar altında anlatılmıştır.



Şekil 4. Etüv, CHNS-O Elementel Analiz Cihazı

2.2.1. Gövde Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması

Farklı çap ve boy basamağında olacak şekilde belirlenen 207 adet örnek ağaç motorlu testere yardımı ile kesilmiştir. Kesilen ağacın hacminin belirlenmesi için ağacın boyu her 2 m’de bir seksiyon çapları (0,3m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m) ölçülmüştür. Gövde örnekleme için her seksiyonun orta yerinden 5-7 cm kalınlığında enine kesitler alınmıştır. Alınan enine kesitler karışmaması için etiketleri hazırlanıp paketlenerek K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı Laboratuvarı’na getirilmiştir. Laboratuara getirilen gövde örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar $65 \pm 3^\circ\text{C}$ ’de 96 saat süre ile değişmez ağırlığa gelene kadar fırınlanmıştır. Fırın kurusu hale gelen örnek kabuğundan ayrılarak tekrar tartılıp kabuksuz gövde fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir. Alınan enine kesitlerin hacmini tahmin etmek için birbirine dik iki eksende çap ölçümü ve bu eksenlerin hizasında dört farklı yükseklik ölçümü yapılmıştır. Yüksekliklerin ortalaması alınarak ortalama yükseklik ve çapların ortalaması alınarak ortalama çap değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanarak her bir enine kesitin hacmi tahmin edilmiştir. Ayrıca ağaç üzerinde ölçülen seksiyonlardaki çaplar ile de her bir seksiyonun hacmi de orta yüzey (Huber) formülü ile hesaplanmıştır. Her bir enine kesitin hacmi ile seksiyon hacimleri oranlanıp elde edilen oran ile her bir enine kesitin fırın kurusu ağırlığı ile çarpılıp her seksiyonun fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir. Bu değerler toplanarak da tüm ağacın kabuksuz fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir ve bu değer de gövde biyokütlesidir.

Fırın kurusu haldeki kabuksuz gövde örmeği karbon analizine hazır hale getirilmesi için çeşitli alet ve makinelerle toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı’nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her

bir örneğin içerdği karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen karbon içeriği miktarı ile kabuksuz gövde biyokütlesi çarpılarak kabuksuz gövde de depolanan karbon miktarı bulunmuştur.



Şekil 5. Gövdede depolanan karbon miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar

2.2.2. Kabuk Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması

Kabukta depolanan karbon miktarının belirlenmesi için kesilen ağacın 2'şer m'lik seksiyonlara ayrılarak her bir seksiyonun orta noktasına gelen yerden alınan enine kesitlerden yararlanılmıştır. Her bir enine kesitin fırın kurusu ağırlığının belirlenmesi gövdede depolanan karbon miktarının belirlenmesi kısmında açıklanmıştır ve yine o bölümde belirlenen kabuklu fırın kurusu ağırlığından kabuksuz fırın kurusu ağırlığı çıkarılarak kabuk fırın kurusu ağırlığı bulunmuştur. Her bir seksiyon hacmi ile enine kesitin hacmi oranlanıp, enine kesit kabuk fırın kurusu ağırlığı ile çarpılarak her seksiyondaki kabuk fırın kurusu ağırlığı bulunur. Daha sonra bu seksiyon kabuk fırın kurusu ağırlıkları toplanarak ağacın kabuk fırın kurusu ağırlığı bulunmuştur ve bu değer de kabuk biyokütlesidir.

Fırın kurusu haldeki kabuk örneği karbon analizine hazır hale getirilmesi için çeşitli alet ve makinelerle toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı'nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her bir

örneğin içerdiği karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen kabuk karbon içeriği miktarı ile kabuk biyokütlesi çarpılarak kabukta depolanan karbon miktarı bulunmuştur.

2.2.3. Dal Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması

Kesilen örnek ağaç üzerindeki dalların hacimlendirilebilmesi için ağaç üzerindeki tüm dalların dip çapı ve boyları ölçülmüştür. Dip çapı ve boyu ölçülen tüm dallar tek tek koninin hacim formülü kullanılarak hacimlendirilmiştir. Hacmi belirlenen tüm dalların hacimleri toplanarak toplam dal hacmi edilmiştir. Ağaçtaki dal/ibre yapılanmasını temsil edecek şekilde üç adet dal belirlenip örnek dal olarak alınmıştır. Dal üzerindeki ibreler toplanarak ayrıldıktan sonra kalan örnek dal örneği olarak alınmıştır. Örnek dalların dip çapları ve boyları karneye not edilmiş, daha sonra bu verilerle örnek dalların hacimleri tahmin edilmiş ve ortalamaları alınıp ortalama dal hacimleri belirlenmiştir. Dal ve ibre örnekleri karışmaması için etiketleri oluşturulup paketlenerek K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı Laboratuvarı'na getirilmiştir. Laboratuvara getirilen dal örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar $65\pm3^{\circ}\text{C}$ 'de 96 saat süre ile fırınlanmıştır. Değişmez ağırlığa gelen dalların fırın kurusu ağırlıklarının ortalaması alınarak ortalama dal fırın kurusu ağırlığı olarak not edilmiştir. Ağaçta yer alan dalların toplam fırın kurusu ağırlıklarını belirlemek için dalların toplam hacmi ile örnek dalların ortalama hacimleri oranlanıp, ortalama örnek dal fırın kurusu ağırlığı ile çarpılarak ağaçtaki dalların toplam fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir ve bu değer de dal biyokütlesidir.

Fırın kurusu haldeki dal örnekleri karbon analizi yapılabilmesi için farklı alet ve makineler yardımıyla öğütülüp toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı'nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her bir örneğin içerdiği dal karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen dal karbon içeriği miktarı ile dal biyokütlesi çarpılarak dallarda depolanan karbon miktarı bulunmuştur.



Şekil 6. Dalda depolanan karbon miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar

2.2.4. İbre Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Hesaplanması

İbrede depolanan karbon miktarının belirlenmesi için dal hacimlerinden yararlanılmıştır ve dal hacminin belirlenmesi dallarda depolanan karbon miktarının hesaplanması kısmında anlatılmıştır. Arazide ağaçtaki dallanmayı temsil edecek şekilde alınan üç adet örnek dal üzerindeki ibreler yolunarak dallarından ayrılmış ve paketlenerek K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı Laboratuvarı'na getirilmiştir. Laboratuvara getirilen ibre örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar $65 \pm 3^\circ\text{C}$ 'de 48 saat süre ile değişmez ağırlığa gelene kadar fırınlanmıştır. Değişmez ağırlığa gelen ibre örnekleri ağırlıklarının ortalaması alınarak ortalama ibre fırın kurusu ağırlıklar belirlenmiştir. Ağaçtaki fırın kurusu ibre miktarını belirlemede dal hacimlerinden yararlanıldığı için, toplam dal hacminin ortalama örnek dal hacmine oranlanarak, çıkan oran ile de ortalama fırın kurusu ibre ağırlığı çarpılarak toplam fırın kurusu ibre ağırlığı elde edilmiştir ve bu değerde ibre biyokütlesidir.

Fırın kurusu haldeki ibre örnekleri karbon analizi yapılabilmesi için farklı alet ve makineler yardımıyla öğütülüp toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı'nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her bir örneğin içerdiği ortalama ibre karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen ibre karbon içeriği miktarı ile dal biyokütlesi çarpılarak ibrelerde depolanan karbon miktarı bulunmuştur.



Şekil 7. İbrede depolanan karbon miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar

2.2.5. Ağaç Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması

Ağaçta depolanan karbon miktarının belirlenmesi için gövde, dal, ibre ve kabuk için yukarıda anlatılan işlemler sonucunda elde edilen karbon miktarları kullanılmıştır. Her bir bileşenin depoladıkları karbon miktarları toplanarak ağaçta depolanan toplam karbon miktarı belirlenmiştir.

2.2.6. Karbon Modellerinin Geliştirilmesi

Her bir örnek ağaç için gövde, dal, ibre, kabuk ve ağacın depoladıkları karbon miktarları bulunmuştur. Daha sonra her bir örnek ağacın göğüs çapı ile depoladıkları karbon miktarları ayrı ayrı SPSS v.22 paket programında Regresyon Analizi yöntemindeki Curve Estimation tekniği kullanılarak kullanılarak modellenmiştir. Bağımsız değişken olarak göğüs çapı, bağımlı değişken olarak ise her bir bileşenin (gövde, dal, kabuk, ibre ve ağaç) depoladığı karbon miktarı kullanılmıştır. En uygun modelin seçimi için modelin düzeltilmiş belirtme katsayısının yüksek, standart hatasının düşük ve biyolojik kurallara uyumlu model olmasına dikkat edilmiştir. Bütün bu işlemler sonucunda göğüs çapına bağlı tek girişli karbon modelleri geliştirilmiştir.

$$y = b_0 + b_1 x d_{1,3} \quad (\text{Lineer})$$

$$y = b_0 + b_1 x d_{1,3} + b_2 x d_{1,3}^2 \quad (\text{Kuadratik})$$

$$y = b_0 + b_1 x d_{1,3} + b_2 x d_{1,3}^2 + b_3 x d_{1,3}^3 \quad (\text{Kübik})$$

$$y = b_0 + (b_1 / d_{1,3}) \quad (\text{Ters})$$

$$y = b_0 + b_1 x \ln_{1,3} \quad (\text{Logaritmik})$$

$$\ln y = b_0 + b_1 x d_{1,3} \quad (\text{Growth})$$

$$\ln y = b_0 + (b_1/d_{1,3}) \quad (S)$$

$$\ln y = \ln b_0 + b_1 x \ln d_{1,3} \quad (\text{Power})$$

$$\ln y = \ln b_0 + \ln b_1 x d_{1,3} \quad (\text{Compound})$$

d : göğüs çapını göstermektedir.

Geliştirilen denklemlerin seçiminde kullanılan belirtme katsayısı (R^2) ve denklemin standart hata (S_{yx}) değerlerinin hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}} \quad S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - p}}$$

Denklemlerde, y : karbon miktarı, $\hat{y}$: denklem ile elde edilen karbon miktarı, n : örnek sayısı, p : denklemdaki katsayı adedini göstermektedir.

Denklemlerin kullanılabilirliğinin kontrolü bağımsız bir veri grubu ile yapılmalıdır. Her bir biyokütle bileşeni için alınan örneklerin %80'i denklemlerin geliştirilmesinde, geriye kalan %20'lik (her bir bileşen için 42 adet veri) kısım ise geliştirilen denklemlerin kullanılabilirliğinin kontrolü için kullanılmıştır. Geliştirilen denklemlerin kullanılabilirliğini kontrol etmek için geliştirilen denklemler Student'in Eşleştirilmiş t -testi ile kontrol edilmiştir.

$$t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}}$$

$\bar{d}$: Gerçek karbon depolama miktarı ile Regresyon Analizi sonucu geliştirilen denklemlerden elde edilen değerlerin farklarının ortalaması, $S_{\bar{d}}$: Karbon depolama miktarlarının standart hatasını göstermektedir.

2.2.7. Meşcerelerde Depolanan Ağaç Karbon Miktarının Bulunması

Meşcerelerde depolanan ağaç karbon miktarını belirlemek için örnek alan verilerinden yararlanılmıştır. Örnek alanlardaki her ağacın göğüs çapı geliştirilen karbon modellerinde yerine konularak her ağaç için gövde, dal, ibre, kabuk ve ağaçta depolanan karbon miktarları bulunmuştur. Her ağaçta her bir bileşen için hesaplanan karbon

depolama miktarları toplanarak örnek alandaki depolanan karbon miktarları bulunmuştur. Örnek alanda hesaplanan değerler ile hektara çevirme katsayısı çarpılarak hektarda depolanan karbon miktarları bulunmuştur.

2.2.8. Ölü Örtü Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması

Ölü örtüde depolanan karbon miktarını belirlemek için 31 örnek alanın 20 tanesinde ölü örtü materyali alınmıştır. Örnek alanlarda yerleri rastgele yöntemle belirlenen 25x25 cm ebatlarında 4'er adet örnekleme kuadratları oluşturulmuştur. Bu kuadratlar içerisinde çapı 2.5 cm'den küçük dallar, kozalak, ibre ve kabuk gibi döküntü maddeler mineral toprağa kadar toplanmıştır. Toplanan örnekler paketlenip K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı Laboratuvarı'na getirilmiştir. Laboratuara getirilen ölü örtü örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar $65\pm3^{\circ}\text{C}$ 'de 48 saat süre ile değişmez ağırlığa gelene kadar fırınlanmıştır. Değişmez ağırlığa gelen ölü örtü örneklerinin ağırlıklarının ortalaması alınarak ortalama ölü örtü fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Ölü örtü fırın kurusu ağırlıklı, gerekli alan dönüşümleri yapılarak hektardaki ölü örtü fırın kurusu ağırlığı yani biyokütlesi bulunmuş olur.

Fırın kurusu haldeki ölü örtü örneklerinin karbon analizlerinin yapılabilmesi için farklı alet ve makineler yardımıyla yardımı ile öğütülüp toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı'nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her bir örneğin içerdiği ortalama ölü örtü karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen ölü örtü karbon içeriği miktarı ile hektardaki ölü örtü biyokütlesi çarpılarak hektarda ölü örtüde depolanan karbon miktarı bulunmuştur.

2.2.9. Ölü Odun Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması

Ölü odunda depolanan karbon miktarını belirlemek için 31 örnek alanın 21 tanesinde ölü odun materyali alınmıştır. Bu örnek alanlar içerisinde yerleri rastgele yöntemle belirlenen 1x1 m ebatlarında 2 adet örnekleme kuadratı oluşturulmuştur. Bu kuadratlar içerisinde çapı 2,5 cm'den büyük dal ve kuru gövdeler toplanmıştır. Toplanan örnekler paketlenip K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı Laboratuvarı'na getirilmiştir.

Laboratuara getirilen ölü odun örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar $65\pm3^{\circ}\text{C}$ 'de 48 saat süre ile değişmez ağırlığa gelene kadar fırınlanmıştır. Değişmez ağırlığa gelen ölü odun örneklerinin ağırlıklarının ortalaması alınarak ortalama ölü odun fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Ölü odun fırın kurusu ağırlıklı, gerekli alan dönüşümleri yapılarak hektardaki ölü odun fırın kurusu ağırlığı yani biyokütlesi bulunmuş olur.

Fırın kurusu haldeki ölü odun örneklerinin karbon analizlerinin yapılabilmesi için farklı alet ve makineler yardımıyla yardımcı ile öğütülüp toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı'nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her bir örneğin içerdiği ortalama ölü odun karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen ölü odun karbon içeriği miktarı ile hektardaki ölü odun biyokütlesi çarpılarak hektarda ölü odunda depolanan karbon miktarı bulunmuştur.



Şekil 8. Ölü odun karbon depolama miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar

2.2.10. Diri Örtü Bileşeninde Depolanan Karbon Miktarının Bulunması

Diri örtüde depolanan karbon miktarını belirlemek için 31 örnek alan içerinden 10 tanesinde diri örtü materyali alınmıştır. Bu örnek alanlar içerisinde yerleri rastgele yöntemle belirlenen 1x1 m ebatlarında 2 adet örnekleme kuadrati oluşturulmuştur. Bu kuadratlar içerisinde mineral topraktan itibaren canlı nitelikteki ürünler toplanmıştır. Toplanan örnekler paketlenip K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı Laboratuvarı'na getirilmiştir. Laboratuara getirilen diri örtü örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar $65\pm3^{\circ}\text{C}$ 'de 48 saat süre ile değişmez ağırlığa gelene kadar fırınlanmıştır. Değişmez ağırlığa

gelen diri örtü örneklerinin ağırlıklarının ortalaması alınarak ortalama diri örtü fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Diri örtü fırın kurusu ağırlıklı, gerekli alan dönüşümleri yapılarak hektardaki diri örtü fırın kurusu ağırlığı yani biyokütlesi bulunmuş olur.

Fırın kurusu haldeki diri örtü örneklerinin karbon analizlerinin yapılabilmesi için farklı alet ve makineler yardımıyla yardımcı ile öğütülüp toz hale getirilmiştir. Toz haldeki her bir örnekten 3 tekrarlı olacak şekilde örnekler alınarak COSTECH marka CHNS-O Elementel Analiz Cihazı'nda analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her bir örnek için değerlerin ortalaması alınarak, her bir örneğin içerdiği ortalama diri örtü karbon miktarı belirlenmiştir. Elde edilen diri örtü karbon içeriği miktarı ile hektardaki diri örtü biyokütlesi çarpılarak hektarda diri örtüde depolanan karbon miktarı bulunmuştur.



Şekil 9. Diri örtü karbon depolama miktarının belirlenmesine yönelik çalışmalar

2.2.11. Meşcerede Depolanan Toplam Toprak Üstü Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi

Meşcerede depolanan toplam toprak üstü karbon depolama miktarının belirlenmesi için aynı örnek alanlardan alınan dal, ibre, kabuk, gövde, ölü örtü, ölü odun ve diri örtünün hektardaki depoladığı karbon miktarları toplanmıştır. Bu sayede hektarda depolanan toprak üstü karbon miktarları belirlenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Örnek Alana İlişkin Bulgular

31 örnek alanda yapılan ölçümler sonucunda meşcere yaşı, hektardaki ağaç sayısı, aritmetik orta çap, üst boy, göğüs yüzeyi ve hacimleri hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlara bakıldığında meşcerenin yaşı 26 ile 113 arasında değişmekte olup ortalaması 66 yıl, hektardaki ağaç sayıları 333 adet ile 2480 adet arasında değişmekte olup ortalama 1049 adet, aritmetik orta çap 4,1 cm ile 30,5 cm arasında değişmekte olup ortalama 15,6 cm üst boy 6,8 m ile 19,1 m arasında olup ortalama 11,2 m, göğüs yüzeyi 5 m²/ha ile 51 m²/ha arasında değişmekte olup ortalama 24 m²/ha ve hacmi ise 31 m³/ha ile 458 m³/ha arasında değişmekte olup ortalama 182 m³/ha arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Tablo 6. Örnek alanlara ilişkin kimi istatistiki bilgiler

	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Meşcere Yaşı	yıl	26	113	66	24,7
Hektardaki Ağaç Sayısı	adet/ha	333	2480	1049	470
Aritmetik Orta Çap	cm	4,1	30,5	15,6	5,5
Üst Boy	m	6,8	19,1	11,2	3,94
Göğüs Yüzeyi	G(m ² /ha)	5	51	24	11
Hacim	m ³ /ha	31	458	182	105

3.2. Örnek Ağaçlara İlişkin Bulgular

207 adet örnek ağaca ilişkin ölçülen değerler ve hesaplamalar sonucunda çap, boy ve hacimleri belirlenmiştir. Ağaçların göğüs çapları 6 cm ile 42,5 cm arasında değişmekte olup ortalama 17,9 cm, boyları 4,9 m ile 26,9 m arasında değişmekte olup ortalama 12,2 m ve hacimleri ise 0,009 m³ ile 1,971 m³ arasında değişmekte olup ortalama 0,222 m³ olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. Örnek ağaçlara ilişkin kimi istatistiki bilgiler

	Birimi	Örnek Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Çap	cm	207	6	42,5	17,9	6,2
Boy	m	207	4,9	26,9	12,2	4,37
Hacim	m ³	207	0,009	1,971	0,222	0,261

3.3. Ağaç ve Bileşenlerinin Karbon İçeriğine ve Karbon Miktarlarına İlişkin Bulgular

3.3.1. Ağaç Bileşenlerinin Karbon İçeriklerine İlişkin Bulgular

Yapılan karbon analizleri sonucunda bulunan karbon içerikleri ortalama miktarlarına bakıldığında en fazla karbon % 52,8 ile dalda, en az ise % 48,9 ile kabukta olduğu sonucuna varılmıştır. İbrelerin içerdiği ortalama karbon miktarı % 52,3 ve gövdede ise bu değer % 50,0 olarak belirlenmiştir. Buna göre içerdikleri karbon miktarına göre en fazladan en aza doğru sırasıyla dal, ibre, gövde ve kabuktur. Karbon içeriklerine bakıldığında ise gövde % 37,7 ile % 67,7 arasında, dal % 34,9 ile 58,3 arasında, ibre % 40,7 ile % 62,7 arasında ve kabuk ise % 20,9 ile % 65,8 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 8. Ağaç bileşenlerinin karbon içeriklerine ilişkin kimi bilgiler

Bileşenler	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Gövde	%	37,7	67,7	50,0	2,6
Dal	%	34,9	58,3	52,8	2,2
İbre	%	40,7	62,7	52,3	1,9
Kabuk	%	20,9	65,8	48,9	4,0

3.3.2. Ağaç ve Ağaç Bileşenlerinin Karbon Miktarlarına İlişkin Bulgular

Karbon miktarlarının hesaplanmasında her bir bileşenin karbon içeriği miktarı ile biyokütle değeri çarpılmıştır. Bu değerler her bir bileşenin karbon miktarını göstermektedir. Ağaçta depolanan karbon miktarını belirlemek için ise her bir bileşenin karbon miktarı toplanmıştır. Bu işlemler sonucunda depolanan karbon miktarlarına bakıldığında gövdede 42,15 kg, dalda 11,33 kg, ibrede 7,50 kg, kabukta 6,45 kg ve ağaçta 63,86 kg olarak belirlenmiştir. Ağaç ve bileşenlerinin değişim aralıkları ise gövdede 1,04 kg ile 337,66 kg arasında, dalda 0,45 kg ile 96,30 kg arasında, ibrede 0,28 kg ile 66,85 kg arasında, kabukta 0,36 kg ile 57,31 kg arasında ve tüm ağaçta 2,72 kg ile 465,40 kg arasındadır.

Tablo 9. Ağaç ve bileşenlerinin karbon depolama miktarına ilişkin kimi bilgiler

	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Gövde	kg	1,04	337,66	42,15	48,56
Dal	kg	0,45	96,30	11,33	13,70
İbre	kg	0,28	66,85	7,50	9,10
Kabuk	kg	0,36	57,31	6,45	7,34
Ağaç	kg	2,72	465,40	63,86	65,54

3.4. Karbon Modellerine İlişkin Bulgular

Ağaç, gövde, dal, ibre ve kabuk biyokütle bileşenleri için depolanan karbon miktarları ile göğüs çaplarının SPSS v.22 paket programı kullanılarak Regresyon Analizi ile karbon modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller içerisinde en uygun modeli belirlemek için düzeltilmiş katsayısı en yüksek, standart hatası en düşük ve biyolojik kurallar ile uyumlu olmasına dikkat edilmiştir. Geliştirilen modeller içerisinde gövde, dal, ibre, kabuk ve ağaç bileşenleri için 0,05 önem düzeyi ile en uygun modelin Power modeli olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre;

$$\text{Gövdede Depolanan Karbon Miktarı} = 0,009148xd^{2,818398} \\ (R^2 = 0.914, S_{y,x}=0.029 \text{ kg, } F= 2161, P<0.001)$$

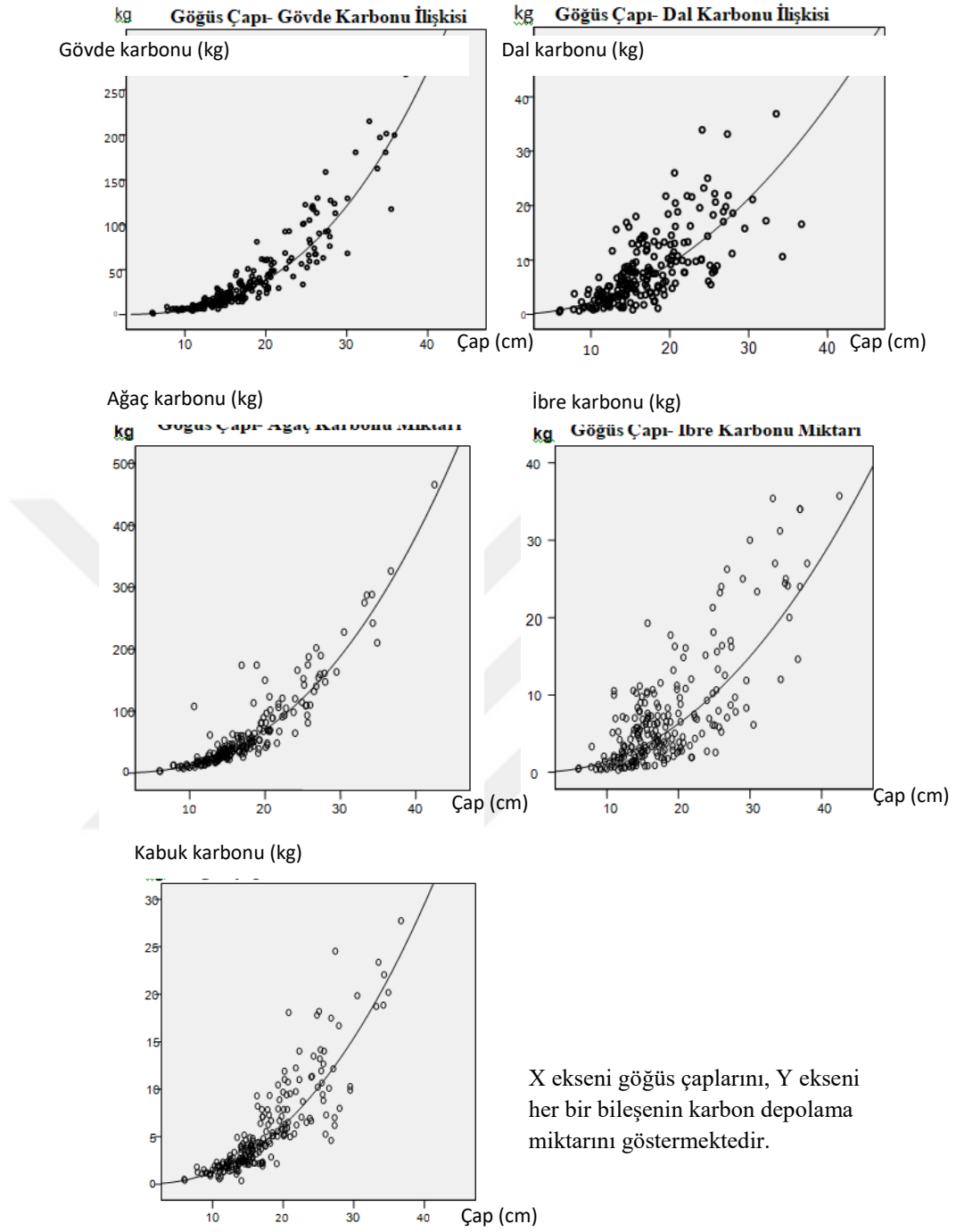
$$\text{Dalda Depolanan Karbon Miktarı} = 0,013787xd^{2,08976} \\ (R^2 = 0.509, S_{y,x}= 0.654 \text{ kg, } F = 160, P<0.001)$$

$$\text{İbrede Depolanan Karbon Miktarı} = 0,010674xd^{2,160665} \\ (R^2 = 0.54, S_{y,x}= 0.666 \text{ kg, } F = 220 P<0,001)$$

$$\text{Kabukta Depolanan Karbon Miktarı} = 0,006335xd^{2,319881} \\ (R^2 = 0.764, S_{y,x}= 0.432 \text{ kg, } F = 651, P<0.001)$$

$$\text{Ağaçta Depolanan Karbon Miktarı} = 0,038678xd^{2,49296} \\ (R^2 = 0.906, S_{y,x}= 0.271 \text{ kg, } F = 2069, P<0.001)$$

olarak belirlenmiştir. Modeldeki d göğüs çapını ifade etmektedir.



Şekil 10. Karbon depolama miktarları ile göğüs çapı arasındaki ilişkiler

Geliştirilen karbon modellerinin kullanılabilirliğini test etmek için Student'in Eşlendirilmiş *t*-testi kullanılmıştır. Eşlendirilmiş *t*-testi sonuçlarına göre geliştirilen karbon depolama denklemleri genel bazda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Eşlendirilmiş *t*-testine ilişkin sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Geliştirilen modellerin Ankara Orman

Bölge Müdürlüğü'ndeki saf karaçam meşcerelerinde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 10. Karbon modellerinin Eşlendirilmiş *t*-testine ilişkin kimi bulgular

Örnek Sayısı	Biyokütle Bileşeni	Test İstatistiği (t_{hesap})	Önem Düzeyi (P)
42	Gövde	1,504	$P>0,005$
42	Dal	1,269	$P>0,005$
42	İbre	1,488	$P>0,005$
42	Kabuk	0,787	$P>0,005$
42	Ağaç	1,106	$P>0,005$

3.5. Karaçam Meşcerelerinin Ağaç Biyokütle Bileşenlerinde Depolanan Karbon Miktarlarına İlişkin Bulgular

Karaçam meşcerelerinin ağaç biyokütle bileşeninde depolanan karbon miktarları gövdede depolanan karbon miktarı 3,68 ton/ha ile 100,36 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 37,77 ton/ha, dalda depolanan karbon miktarı 1,02 ton/ha ile 12,12 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 5,5 ton/ha, ibrede depolanan karbon miktarı 0,93 ton/ha ile 11,98 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 5,32 ton/ha, kabukta depolanan karbon miktarı 0,81 ton/ha ile 12,77 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 5,4 ton/ha'dır. Tüm ağaçta ise 7,25 ton/ha ile 137,19 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 55,34 ton/ha'dır.

Tablo 11. Saf karaçam meşcerelerinin ağacında depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler

	Birimi	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Gövde	ton/ha	3,68	100,36	37,77	23,88
Dal	ton/ha	1,02	12,12	5,5	2,69
İbre	ton/ha	0,93	11,98	5,32	2,68
Kabuk	ton/ha	0,81	12,77	5,4	2,9
Ağaç	ton/ha	7,25	137,19	55,34	31,66

3.6. Ölü Örtüde Depolanan Karbon Miktarına İlişkin Bulgular

Alınan ölü örtü örneklerinin karbon içeriğine bakıldığında % 43,5 ile % 49,9 arasında değişirken ortalama karbon içeriği ise % 47,8'dir. Hektardaki karbon depolama miktarına bakıldığında ise 0 ton/ha ile 29.77 ton/ha'dır.

Tablo 12. Ölü örtüde depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler

	Birim	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer	Standart sapma
Karbon İçeriği	%	43,5	49,9	47,8	18
Karbon Depolama Miktarı	ton/ha	0,00	29,77	12,76	9,32

3.7. Ölü Odunda Depolanan Karbon Miktarına İlişkin Bulgular

Alınan ölü odun örneklerinin karbon içeriğine bakıldığında % 46,7 ile % 52,6 arasında değişirken ortalama karbon içeriği ise % 48,9'dir. Hektardaki karbon depolama miktarına bakıldığında ise en düşük 0,00 ton/ha ve en yüksek 1,82 ton/ha'dır.

Tablo 13. Ölü odunda depolanan karbon miktarına ilişkin kimi bilgiler

	Birim	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer	Standart sapma
Karbon İçeriği	%	46,7	52,6	48,9	1,4
Karbon Depolama Miktarı	ton/ha	0,00	1,82	0,81	0,46

3.8. Diri Örtüde Depolanan Karbon Miktarına İlişkin Bulgular

Alınan diri örtü örneklerinin karbon içeriğine bakıldığında % 33,3 ile % 47,1 arasında değişirken ortalama karbon içeriği ise % 41,4'dir. Hektardaki karbon depolama miktarına bakıldığında ise en düşük 0,00 ton/ha ve en yüksek 0,09 ton/ha'dır.

Tablo 14. Diri örtüde depolanan karbon miktarına ilişkin kimi bilgiler

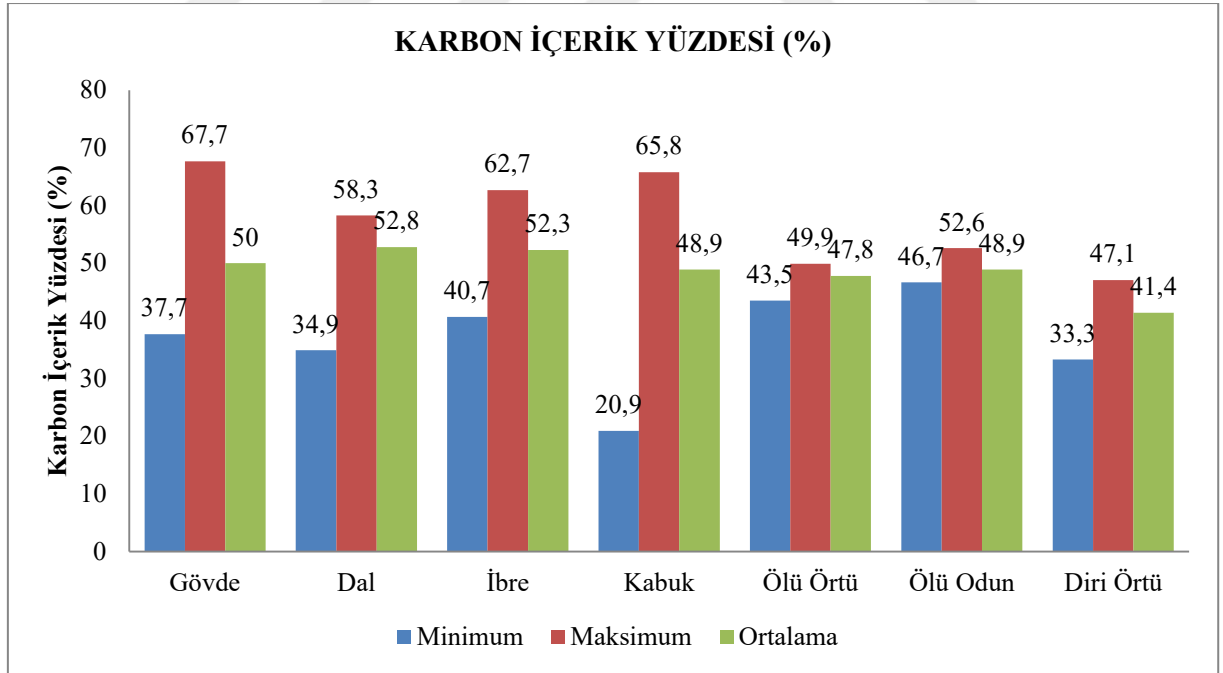
	Birim	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer	Standart sapma
Karbon İçeriği	%	33,3	47,1	41,4	4,2
Karbon Depolama Miktarı	ton/ha	0,00	0,09	0,04	0,02

3.9. Karaçam Meşcerelerinin Toprak Üstü Karbon Depolama Miktarlarına İlişkin Bulgular

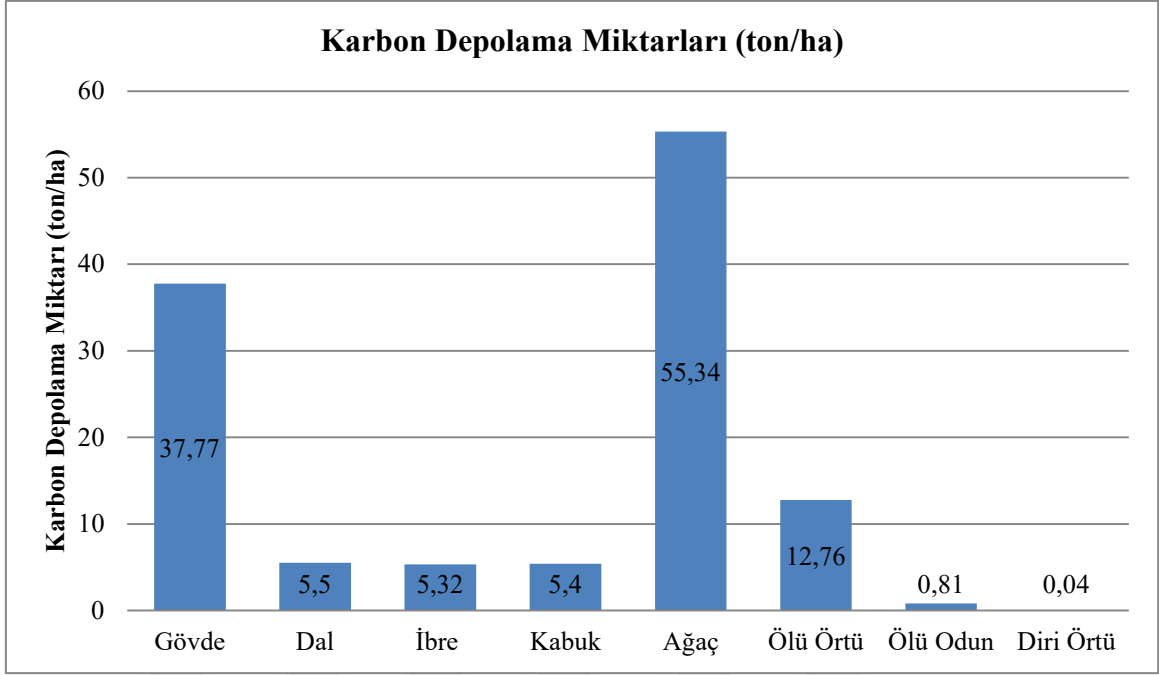
Önceki bölümlerde gövde, kabuk, dal, ibre, ölü örtü, ölü odun ve diri örtüye ilişkin karbon depolama miktarlarının nasıl belirlendiği detaylıca anlatılmıştır. Karaçam meşcerelerinde depolanan karbon miktarını bulabilmek için ise her bir bileşenin depoladığı karbon miktarları toplanmıştır. Bu sonuçlara göre karaçam meşcerelerinde depolanan karbon miktarı en az 7,25 ton/ha, en yüksek 161,80 ton/ha ve ortalama 64,63 ton/ha olarak bulunmuştur.

Tablo 15. Karaçam meşcerelerinin topraküstünde depolanan karbon miktarlarına ilişkin kimi bilgiler

	Birim	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer	Standart sapma
Karbon Depolama Miktarı	ton/ha	7,25	161,80	64,63	35,24



Şekil 11. Topraküstü biyokütle bileşenlerinin karbon içerik yüzdeleri (%)



Şekil 12. Ankara OBM saf Karaçam meşcerelerinde depolanan karbon miktarları (ton/ha)

4. TARTIŞMA

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'nde yapılan çalışma sonucunda gövde, dal, ibre, kabuk, ölü örtü, ölü odun ve diri örtü için karbon içerik miktarları (%) belirlenmiş ve sonrasında da gövde, dal, ibre, kabuk ve ağaç için karbon modelleri geliştirilmiştir. Karbon modellerini kullanarak da meşcerelerde ağaçlarda depolanan karbon miktarları ve daha sonrasında da meşcerelerde depolanan toplam toprak üstü karbon miktarları hesaplanmıştır.

Ağaç bileşenlerinin karbon içeriklerine bakıldığında gövde % 37,7 ile % 67,7 arasında, dal % 34,9 ile % 52,8 arasında, ibre % 40,7 ile % 62,7 arasında ve kabuk % 20,9 ile %65,8 arasında olduğu bulunmuştur. Ortalama karbon içerikleri ise gövde % 50,0, dal % 52,8, ibre % 52,3 ve kabuk % 48,9'dur. Karbon içeriklerine göre büyükten küçüğe doğru dal, ibre, gövde ve kabuk olarak sıralanmaktadır.

Ağaç bileşenlerinin ve ağaçların depoladığı karbon miktarlarına bakıldığında gövde 1,04 kg ile 337,66 kg arasında, dal 0,45 kg ile 96,30 kg arasında, ibre 0,28 kg ile 66,85 kg arasında. kabuk 0,36 kg ile 57,31 kg arasında ve ağaçta 2,72 kg ile 465,40 kg arasında olduğu bulunmuştur. Ortalama karbon miktarları ise gövde 42,14 kg, dal 11,33 kg, ibre 7,45 kg, kabuk 6,45 kg ve ağaç 63,86 kg olarak bulunmuştur.

Geliştirilen karbon modelleri ile meşcerede ağaç ve bileşenlerinde depolanan karbon miktarlarına bakıldığında gövde 3,68 ton/ha ile 100,36 ton/ha arasında, dal 1,02 ton/ha ile 12,12 ton/ha arasında, ibre 0,93 ton/ha ile 11,98 ton/ha arasında, kabuk 0,81 ton/ha ile 12,77 ton/ha arasında ve ağaç 7,25 ton/ha ile 137,19 ton/ha arasında olduğu belirlenmiştir. Ortalama karbon miktarları ise gövde 37,77 ton/ha, dal 5,50 ton/ha, ibre 5,32 ton/ha, kabuk 12,77 ton/ha ve ağaç ise 55,34 ton/ha olarak bulunmuştur.

Ölü örtü karbon içeriği % 43,5 ile % 49,9 arasında, diri örtü karbon içeriği % 33,3 ile % 47,1 arasında ve ölü odun karbon içeriği % 46,7 ile % 52,6 arasında olduğu belirlenmiştir. Ortalama karbon içerikleri ise ölü örtü % 47,8, ölü odun % 48,9 ve diri örtü % 41,6 olarak bulunmuştur. Karbon içeriklerine bakıldığında en az fazla ölü odunda en az ise diri örtüde bulunmaktadır.

Ölü örtü karbon miktarı 2,03 ton/ha ile 29,77 ton/ha arasında, ölü odun karbon miktarı 0,27 ton/ha ile 1,82 ton/ha arasında ve diri örtü karbon miktarı ise 0,008 ton/ha ile

0,09 ton/ha arasında olduğu belirlenmiştir. Ortalama karbon miktarları ise ölü örtü 12,76 ton/ha, ölü odun 0,81 ton/ha ve diri örtü ise 0.04 ton/ha olarak bulunmuştur.

Karaçam meşcerelerinde toprak üstünde depolanan karbon miktarları ise 7,25 ton/ha ile 161,80 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 64,63 ton/ha'dır.

Özkaya (2004) ise doğu ladinini üzerine yapmış olduğu çalışmada depolanan karbon miktarının tüm ağaç üzerinde dağılımını %87,33 ile gövde, % 7,40 ile dal ve % 4,77 ile yapraklarda olduğunu belirlemiştir. Karaçam türünün tüm ağaç üzerine dağılımı ise gövde %79,96, dal % 10,19 ve ibre ise % 9,85'dir. Bu sonuçlara göre karaçamın dal ve ibre oranı ladine göre daha fazla çıkmaktadır.

Tolunay (2009) sarıçamalarda ağaç bileşenlerinin içerdiği ortalama karbon miktarları gövdede %51,2, dalda %54,7, ibrede %53,02 ve kabukta ise %53,5 olduğunu belirtmiştir. Karaçamalarda ise bu değerler gövdede %50, dalda % 52,8, ibrede %52,3 ve kabukta % 48,9 olarak bulunmuştur. Sarıçamaların karbon içeriği karaçamlara göre daha yüksek olarak bulunmuştur.

Çömez (2010) sarıçamalarda ortalama ağaç karbon içeriğini % 52,463 olarak ve meşcerelerde depolanan ağaç karbon miktarlarını ise 8,422 ton/ha ile 207,707 ton/ ha arasında bulmuştur. Karaçamalarda ağaç karbonu 7,25 ton/ ha ile 137,39 ton/ha arasında olup sarıçama göre depolanan karbon miktarı daha azdır.

Makineci vd. (2011) Trakya yöresi meşe ekosistemlerinde yaptıkları çalışma sonucunda içerdiği ortalama karbon miktarlarını gövde, dal ve ibrede % 49, kabuk ise % 48 olarak belirlemişlerdir. Ağaç bileşenlerinin karbon içeriklerinin ağaç üzerine dağılımını ise gövdede % 62, dalda % 17, yaprakta % 7 ve kabukta % 14 olarak belirlemişlerdir. Ankara bölgesinde ki karaçamların içerdikleri ortalama karbon miktarları gövdede % 50,0, dalda % 52,8, ibrede % 52,3 ve kabukta % 48,9 olarak bulunmuştur. Karaçam ağaç bileşenlerinin karbon içeriklerinin ağaç üzerine dağılımını ise gövde % 69.9, dal % 10.2, ibrede % 9.9 ve kabukta % 10,0 olarak belirlemişlerdir Bu sonuçlara göre karaçamlar Trakya yöresindeki meşelere göre daha fazla karbon içermektedir.

Mısır vd. (2011), doğu ladininde içerdiği ortalama karbon miktarlarını gövdede % 34,3, dalda % 37,5, ibrede % 46,8 ve kabukta ise % 44,3 olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre karaçamların içerdiği karbon miktarları daha fazladır.

Bülbül (2012), doğu ladininde toprak üstü karbon içeriklerini gövdede % 27,1 ile % 41,5 arasında, dalda % 32,4 ile % 42,5 arasında, ibrede % 43,3 ile % 50,3 arasında, kabukta % 35,7 ile % 52,8, diri örtüde % 35 ile % 42 arasında, ölü örtüde %40 ile % 52

arasında ve ölü odunda ise %33 ile %45 arasında olduğunu belirlemiştir. Ayrıca toprak üstünde depolanan toplam karbon miktarını ise 77,0 ton/ha ile 189,2 ton/ha olarak bulmuştur. Karaçam meşcerelerindeki karbon içerikleri diri örtüde % 33,3 ile % 47,1 arasında, ölü örtüde % 43,5 ile % 49,9 arasında ve ölü odunda ise % 46,7 ile % 52,6 olarak bulunmuştur. Ayrıca toprak üstünde depolanan karbon miktarı ise 7,25 ton/ha ile 161,8 ton/ha arasında değişmekte olup bu değerler doğu ladinine göre daha azdır.

Mısır vd. (2012), Uludağ göknarında ağaç bileşenlerinin içerdiği ortalama karbon miktarlarını gövdede % 56,1, dalda % 46,6, ibrede % 45,0 ve kabukta ise % 38,0 olarak belirtmişlerdir. Uludağ göknarının gövdesinin içerdiği karbon miktarı karaçamın içerdiği karbon miktarından fazla olup, diğer değerler karaçama göre düşüktür.

Tang vd. (2012), tropikal orman ekosistemlerinde içerdiği ortalama karbon miktarlarını gövdede % 45, dalda % 44 ve yaprakta ise % 41 olduğunu ifade etmişlerdir. Karaçamlara göre daha az karbon içermektedirler.

Uri vd. (2012), Güneydoğu Estonya da huş meşcerelerinde yaptığı çalışma sonucunda karbon yüzdelerini ağacın bileşenlerinde % 47 ile % 55 arasında değiştiğini ve diri örtü ortalama karbon içeriğini % 43,3 olarak belirlemiştir.

Lim (2012), Isparta bölgesinde yer alan Kermes meşesi ağırlıklı makilik alanlarda ağaçlarda depolanan karbon depolama miktarları üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonucuna göre yaprakta 0,663 ton/ha ile 6,625 ton/ha arasında, dalda 1,877 ton/ha ile 19,664 ton/ha arasında, gövdede 1,348 ton/ha ile 14,296 ton/ha arasında ve toplamda 4,346 ton/ha ile 40,585 ton/ha arasında değiştiğini belirlemiştir. Ankara bölgesinde ki karaçamlarda ibrede 0,93 ton/ha ile 11,98 ton/ha arasında, dalda 1,2 ton/ha ile 12,12 ton/ha arasında, gövdede 3,68 ton/ha ile 100,36 ton/ha arasında ve toplamda 7,25 ton/ha ile 137,19 ton/ha arasında değiştiğini belirlemiştir. Bu sonuçlara göre kermes meşelerinin dallarında depolanan karbon miktarı karaçama göre fazla olup, diğer bileşenler de depolanan karbon miktarı daha azdır.

Erkut (2013), Giresun Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Akkuş Orman İşletme Müdürlüğünde saf kayınlarda toprak üstü karbon depolama miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaya göre ağaç bileşenlerinin içerdiği ortalama karbon miktarları gövdede % 45,6, dalda %47,7, yaprakta % 46,5 ve kabukta % 45,6 ve depoladığı karbon miktarlarını ise gövdede 7,4 kg ile 1693,4 kg arasında, dalda 0,1 kg ile 1778,2 kg arasında, yaprakta 0,1 kg ile 1097,1 kg arasında, kabukta 0,5 ile 291,9 kg arasında ve ağaçta ise 81 kg ile 4860,6 kg arasında değiştiğini belirlemiştir. Meşcerede depolanan

karbon miktarını ise gövdede 8,99 ton/ha ile 301,56 ton/ha arasında, dalda 3,63 ton/ha ile 175,32 ton/ha arasında, yaprakta 1,32 ton/ha ile 103,53 ton/ha arasında, kabukta 0,63 ton/ha ile 12,71 ton/ha arasında, ağaçta ise 18,99 ton/ha ile 592,92 ton/ha arasında değiştiğini ifade etmektedir. Ayrıca ölü örtü karbon içeriğini ortalama %34,9 ve karbon miktarlarını da 2 ton/ha ile 7 ton/ha arasında olduğunu, diri örtünün içerdiği karbon miktarını ortalama % 40,1 ve 0,01 ton/ha ile 0,33 ton/ha arasında olduğunu belirlemiştir. Bu sonuçlara göre Ankara OBM sınırları içerisindeki saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü ortalama karbon içeriği ve miktarı ile diri örtü ortalama karbon içeriği fazla, diri örtü miktarı ise az olduğu görülmektedir.

Mısır vd, (2013) doğu kayınında depolanan ortalama karbon içerik miktarlarını gövdede % 43,81, dalda % 45,34, yaprakta % 44,38 ve kabukta % 44,53 olduğunu ifade etmişlerdir. Saf karaçamlarda ise ortalama karbon içerikleri fazla olduğu görülmektedir.

Sakıcı ve Akyıldız (2016) karaçam ağaçlarında yapmış oldukları çalışmalar sonucunda göğüs çapları 8 cm ile 60 cm arasındaki ağaçlarda, göğüs çapı 8 cm'den küçük ağaççıklarda ve kök boğazı çapı 5 cm'den küçük fidanlarda olmak üzere 3 farklı grupta karbon depolama miktarlarını belirlemişlerdir. Göğüs çapı 8 olan ağaçlarda ortalama karbon miktarları gövdede 2,976 kg, dalda 1,775 kg, ibrede 0,682 kg, kabukta 1,737 kg, ve ağaçta 7,309 kg, 60 cm göğüs çapına sahip ağaçlarda gövdede 675,083 kg, dalda 99,864 kg, ibrede 38,390 kg, kabukta 97,693 kg ve ağaçta 852,317 kg olarak belirlemişlerdir. Göğüs çapı 8 cm'den küçük olan karaçamlarda ise göğüs yüksekliği çapı 0,5 cm olan ağaççıkta gövdede 0,018 kg, dalda 0,006 kg, ibrede 0,006 kg ve ağaççıkta 0,030 kg olarak, 7,5 cm göğüs çapına sahip ağaççıklarda ise gövdede 4,151 kg, dalda 1,310 kg, ibrede 1,352 kg ve ağaççıkta 6,814 kg olarak bulmuşlardır. Kök boğazı çapı 0,2 ile 5,0 cm arasında değişen karaçam fidanlarında depolanan karbon miktarı ise 1 gram ve kök boğazı çapı 5 cm olan karaçam fidanında ise 330 gram olarak belirlemişlerdir.

Kahyaoğlu (2017), doğu kayınında ağaç bileşenlerinin içerdiği ortalama karbon miktarlarını gövdede % 47,8 (ortalama 150,949 kg), dalda % 47,2 (ortalama 25,206 kg), yaprakta % 46,0 (ortalama 3,437 kg) ve kabukta ise % 46,7 (ortalama 14,123 kg) olduğunu ifade etmektedir. Karaçamın içerdiği karbon miktarı doğu kayınına göre daha fazla çıkmaktadır.

Çiftçi (2019), 0-10 yaşlarındaki saf karaçam meşcerelerinde ağaçta depolanan karbon miktarını 689.94 kg/ha ile 1483.16 kg/ ha arasında değiştiğini belirlemiştir.

Pirizoğlu (2019), 10-20 yaşlarındaki saf karaçam meşcerelerinde ağaç da depolanan karbon miktarını 17,57 ton/ha ile 29,40 ton/ha arasında değiştiğini ve ortalama 23,99 ton/ha olduğunu belirlemiştir. Ankara bölgesinde ki karaçamların yaşları daha fazla olduğu için depolanan karbon miktarı da fazla çıkmaktadır.

Jagodzinski vd. (2019), Polonya’da yer alan Avrupa göknarlarının içerdikleri ortalama karbon miktarlarını gövdede % 49,6, kabukta % 49,8, dalda % 50,6, yaprakta % 51,9 ve ağaçta % 50,0 olarak belirlemiştir. Bu değerleri dünyanın diğer bölgelerinde kabul edilen değerlerden farklı olmadığını belirtmişlerdir. Karaçamların kabuklarının içerdiği karbon miktarı Avrupa göknarlarından az çıkarken diğer bileşenlerindeki karbon miktarları daha fazladır.

Andrzej vd. (2020), Batı Polonya da Avrupa kayını ve Avrupa ladini türlerinin dağlık ve ovalık bölgelerde yetişen türlerinin depoladıkları karbon miktarları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda Avrupa kayınının dağlık bölgede yetişen türlerinde ortalama karbon içerikleri gövdede % 49,9, dalda % 48,3, kabukta % 49,4 ve yapraklarda % 48,3, ovalarda yetişen türlerinde ise bu değerler gövdede % 49,6, dalda % 48,4, kabukta % 49,3 ve yapraklar % 48,5 olarak belirlenmiştir. Avrupa ladininde ise dağlarda yetişen türlerinde bu değerler gövdede % 50,3, dalda % 49,5, kabukta % 50,5 ve ibrede % 49,1, ovalarda yetişen türlerinde ise gövdede % 50,4, dalda % 49,0, kabukta % 49,9 ve ibrede % 49,0 olarak belirlemiştir. Dağlık ve ovalık bölgelerdeki içerdikleri karbon miktarlarının birbirine yakın çıkmasının nedeni olarak meşcere ve ağaçların boyutları olarak belirtmişlerdir.

Tat (2022), Kahramanmaraş Başkonuş Araştırma Ormanında kızılçam, karaçam, göknar ve sedir meşcerelerinde ölü örtü ve ölü odunda karbon depolama miktarları üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışma sonucuna göre ölü odun içerdiği ortalama karbon miktarına bakıldığında kızılçam meşcerelerinde % 51,153, karaçamda % 54,749, göknarda % 53,415 ve sedirde % 51,642 olarak belirlemiştir. Ölü örtü ortalama karbon içerikleri bakıldığında kızılçam meşcerelerinde % 50,762, karaçamda % 54,608, göknarda % 52,868, sedirde % 51,050 olarak belirlemiştir. Ölü odunda depolanan ortalama karbon miktarları kızılçamda 23,956 ton/ha, karaçamda 5,038 ton/ha, göknarda 21,756 ton/ha, sedirde 7,416 ton/ha ve ölü örtüde depolanan ortalama karbon miktarları kızılçamda 2,392 ton/ha, karaçamda 3,951 ton/ha, göknarda 1,435 ton/ha, sedirde 1,645 ton/ha olarak belirlemiştir. Ankara bölgesindeki saf karaçam meşcerelerine göre sadece ölü örtü miktarı az çıkmaktadır.

Kanlı (2022), Bursa Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarında yer alan Subasar ormanlarında ki dişbudak meşcerelerinde yaptığı çalışma sonucunda içerdikleri karbon miktarlarının en fazla kabukta en az ise dalda olduğunu belirlemiştir. Ortalama değerlerine bakıldığında kabukta % 63,5, gövdede % 58,3, yaprakta % 53,3 ve dalda ise % 52,8 olduğunu belirlemiştir. Ankara saf karaçam meşcerelerinde ki ağaçlara bakıldığında ise içerdikleri ortalama karbon miktarları en fazla % 52,8 ile dalda, % 2,3 ile ibrede, %50,0 ile gövdede ve en az % 48,9 ile kabukta olduğu belirlenmiştir.

Öztürk (2022), Gediz Orman İşletme Müdürlüğü alaları içerisinde yer alan saf karaçam ve karaçam-kızılçam karışık meşcerelerinde toprak üstünde depolanan karbon miktarlarını belirlemeye yönelik çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda saf karaçam meşcerelerinde depolanan karbon miktarını 3,47 ton/ha ile 943,09 ton/ha arasında olduğunu ve içerikleri karbon miktarlarını gövdede % 40,1 ile % 51,7 arasında, dalda % 47,2 ile % 62,2 arasında, ibrede % 39,2 ile % 57,7 arasında ve kabukta % 49,0 ile % 52,4 arasında olduğunu belirlemiştir. Saf karaçam meşcerelerinde diri örtünün karbon içeriği % 39,0 ile % 49,7 arasında, depoladığı karbon miktarları 0.01 ton/ha ile 0.83 ton/ha arasında değişmekte ve ölü örtünün karbon içeriği % 22,8 ile % 48,7 arasında, depoladığı karbon miktarları 1,13 ton/ha ile 34,31 ton/ha arasında değişmektedir. Saf karaçam meşcerelerinde ölü odunun karbon içeriğini % 46,0 ile % 53,3 arasında, depoladıkları karbon miktarları ise 0,30 ton/ha ile 3,33 ton/ha arasında değişmektedir. Saf karaçam meşcerelerinde toplam toprak üstü karbon depolama miktarını 8,64 ton/ha ile 949,23 ton/ha arasında olduğunu belirtmiştir.

Almansouri (2022), Kastamonu Orman İşletme sınırları içerisinde sarıçam, karaçam ve sarıçam-karaçam karışık meşcerelerinde ölü örtü deki karbon içeriklerini belirlemeye yönelik çalışma yapmıştır. Çalışma sonucuna göre karbon içerikleri sarıçam meşceresinde % 24,03 ile % 31,78 arasında, karaçam meşceresinde % 25,88 ile % 33,09 arasında olduğunu belirlemiştir. Ankara bölgesindeki saf karaçam meşcerelerinde ki ölü örtü karbon içeriklerine göre daha düşük değerler bulmuştur.

Mbohhou (2023), Türkiye’de 21 Orman İşletme Müdürlüğünde karaçam-kızılçam karışık meşcerelerinin karbon depolama miktarlarını belirlemek üzere çalışmalar yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmalar da ağaç gövdesinin tek ağaç karbon miktarına oranını % 63 ile % 66 arasında olduğunu belirlemiştir. Karaçam ağacının karbon miktarının % 63,4’ünü gövde, % 18,5’ini dal, % 9,8’ini ibre ve % 8,5’ini kabuk, kızılçam ağacının karbon miktarının % 65,5’ini gövde, % 18,9’unu dal, % 9,1’ini ibre ve % 6,5’ini kabuk

oluşturmaktadır. Karaçam-kızılçam karışık meşcerelerinin içerdiği karbon miktarları ölü örtüde % 32,4 ile % 53,8 arasında, ölü odunda %41,6 ile % 51,0 arasında ve diri örtüde % 38,9 ile % 51,6 arasında; depolanan karbon miktarları ise ölü örtüde 1,860 ton/ha ile 31,185 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 7,763 ton/ha, ölü odunda 0,054 ton/ha ile 3,411 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 1,109 ton/ha ve diri örtüde 0,015 ton/ha ile 1,447 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 0,0208 ton/ha arasında olduğunu belirlemiştir. Ayrıca karaçam-kızılçam ağaçlarının karbon miktarı 8,789 ton/ha ile 164,112 ton/ha arasında değişmekte olup ortalama 56,465 ton/ha'dır.

Aslan (2023), Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Gazipaşa Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yer alan yangın görmüş ve daha sonra doğal olarak tekrardan gelişen kızılçam meşcerelerin de depolanan karbon miktarlarını belirlemiştir. Bu çalışma sonucunda kızılçam meşcerelerinde depolanan ortalama karbon miktarını ibrede 2,00 t/ha, dalda 2,06 t/ha, kabukta 0,78 t/ha, gövdede 2,04 t/ha ve ağaçta depolanan karbon miktarı ise 6,88 t/ha olarak bulmuştur.

Yavuz vd. (2010) tarafından saf sarıçam ve 5 farklı sarıçam karışık meşcerelerinde karbon depolama kapasitesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Saf sarıçam meşcerelerinde yapılan çalışma sonucunda ortalama karbon içeriğini gövdede % 20,8, dalda % 39,4, ibrede % 53,4, ve kabukta ise % 5,6 olduğunu belirlemişlerdir. Depolanan karbon miktarları ise gövde 28 ton/ha ile 120 ton/ha arasında, dal 6,6 ton/ha ile 16,0 ton/ha arasında ve ibre ise 1 ton/ha ile 6,6 ton/ha arasında değiştiği sonucuna varmışlardır.

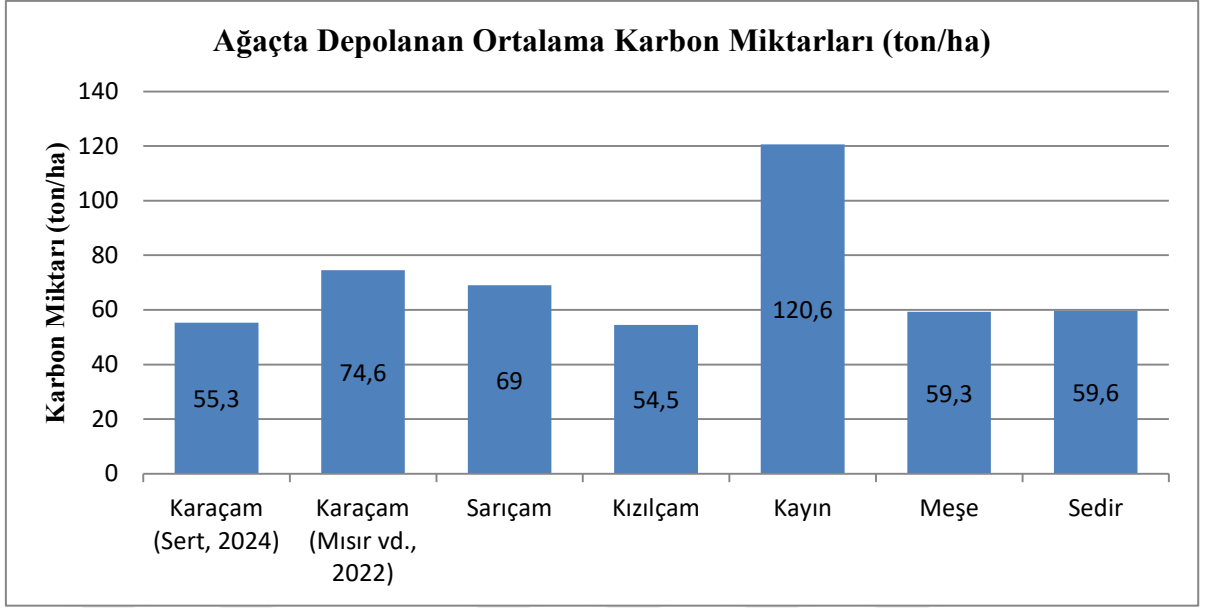
Tablo 16. Saf Sarıçam ve saf Karaçam meşcerelerinin ağaç biyokütle bileşenlerinin içerdiği karbon miktarları

Karbon İçerikleri (%)	Gövde		Dal		İbre		Kabuk	
	Yavuz vd. (2010)	Sert (2024)	Yavuz vd. (2010)	Sert (2024)	Yavuz vd. (2010)	Sert (2024)	Yavuz vd. (2010)	Sert (2024)
En düşük	7,0	37,7	36,5	34,9	18,3	40,7	0,1	20,9
En Yüksek	39,2	67,7	43,1	58,3	63,3	62,7	12,0	65,8
Ortalama	20,8	50,0	39,4	52,8	53,4	52,3	5,6	48,9

Mısır vd. (2022), ülkemiz saf karaçam ve ağırlıklı karışımlarının karaçam olduğu karaçam-sarıçam, karaçam-kızılçam, karaçam-kayın, karaçam-meşe ve karaçam-sedir karışık meşcerelerinde ekosistem bazında karbon depolama miktarlarını belirlemişlerdir. Saf karaçam meşcerelerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda ağaçlarda depolanan karbon

miktarı 0,14 ton/ha ile 526 ton/ha arasında olup ortalama 74,6 ton/ha ve Standart Sapması 54,6 ton/ha iken Ankara OBM sınırlarında yapılan çalışmada ise bu değerler 7,25 ton/ha ile 137,19 ton/ha arasında olup ortalama 55,34 ton/ha ve standart sapması 31,66 ton/ha'dır. Ülkemiz saf karaçam meşcerelerinin ölü örtüsünde depolanan karbon miktarı 0 ton/ha ile 40,7 ton/ha arasında olup ortalama 10,1 ton/ha ve standart sapması 8,1 ton/ha iken Ankara OBM saf karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen bu çalışmada 0 ton/ha ile 29,77 ton/ha arasında olup ortalama 12,76 ton/ha ve standart sapması 9,3 ton/ha'dır. Ülkemiz saf karaçam meşcerelerinin diri örtüsünde depolanan karbon miktarı 0 ton/ha ile 2,7 ton/ha arasında olup ortalama 0,26 ton/ha ve standart sapması 0,41 ton/ha iken Ankara OBM saf karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen bu çalışmada 0 ton/ha ile 0,09 ton/ha arasında olup ortalama 0,04 ton/ha ve standart sapması 0,02 ton/ha'dır. Ülkemiz saf karaçam meşcerelerinde ölü odununda depolanan karbon miktarı 0 ton/ha ile 8,8 ton/ha arasında olup ortalama 1,6 ton/ha ve standart sapması 1,2 ton/ha iken Ankara OBM saf karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen bu çalışmada 0 ton/ha ile 1,82 ton/ha arasında olup ortalama 0,81 ton/ha ve standart sapması 0,46 ton/ha'dır. Bu iki çalışma arasında fark çıkmasının en önemli nedeni çalışmaların yürütüldüğü bölgelerden kaynaklanmaktadır. Mısır vd. (2022) tüm Türkiye genelinde yapılan bir çalışma iken bu çalışma sadece Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yürütülmüştür. Bu bağlamda her iki çalışmadaki aynı göğüs çapına sahip ağaçlarda olsalar yetiştirme ortamı koşullarının farklı olması nedeniyle boylarının farklı olması bu farklılığa neden olmaktadır.

Mısır vd. (2022) karaçamın hakimiyetindeki ikili karışıma giren 6 farklı tür üzerinde yapmış oldukları çalışmalar sonucunda ağaçta depolanan ortalama karbon miktarlarını (ton/ha) Şekil 14'te verilmiştir.

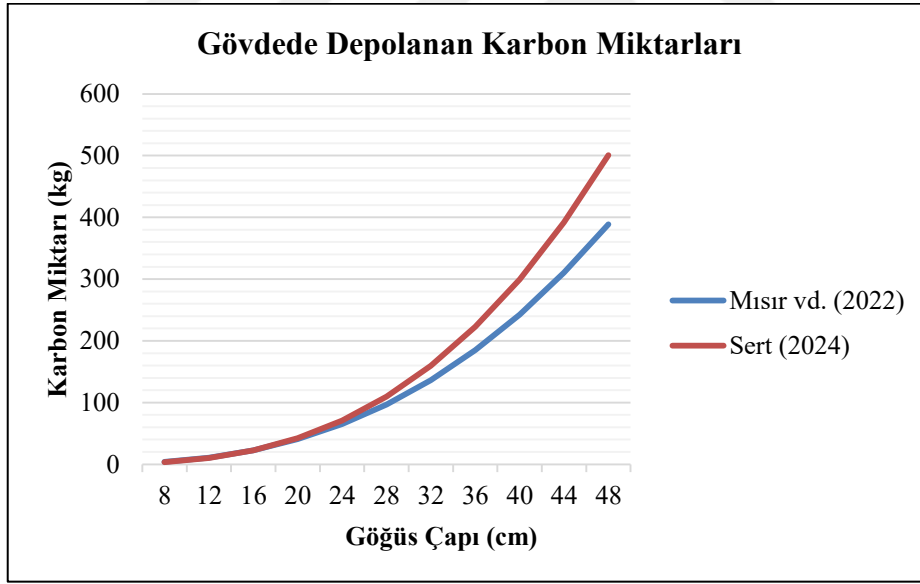


Şekil 13. Ağaçta depolanan karbon miktarları (ton/ha)

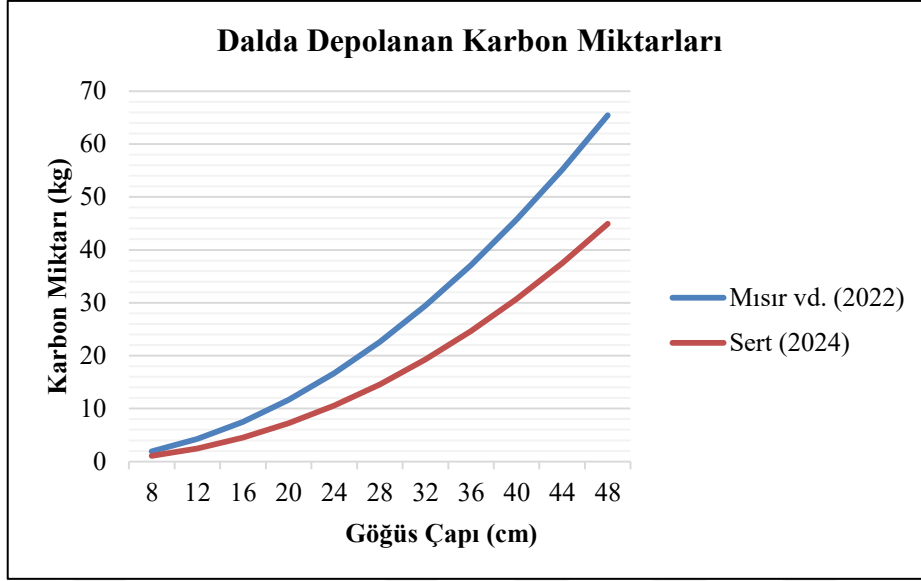
Ayrıca Mısır vd. (2022), “Saf ve Karışık Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb)). Doğal Meşcereleri için Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi” adlı TÜBİTAK TOVAG proje çalışması ile Ankara OBM sınırları içerisinde yapılan çalışmalarda geliştirilen karaçama ait gövde, dal, ibre, kabuk ve ağaca ilişkin karbon modellerinin karşılaştırılması Tablo 16’de verilmiştir. Ayrıca gövdede depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması Şekil 15’de, dalda depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması Şekil 16’da, ibrede depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması Şekil 17’de, kabukta depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması Şekil 18’de ve ağaçta depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması Şekil 19’da verilmiştir. Hesaplanan ortalama karbon miktarlarına göre gövde, ibre, kabuk ve ağaçta Sert (2024) değerleri daha yüksek çıkarken, dalda depolanan ortalama karbon miktarı ise Mısır vd. (2022) daha fazla çıkmıştır.

Tablo 17. Tek ağaç bazında karbon depolama miktarlarının karşılaştırılması

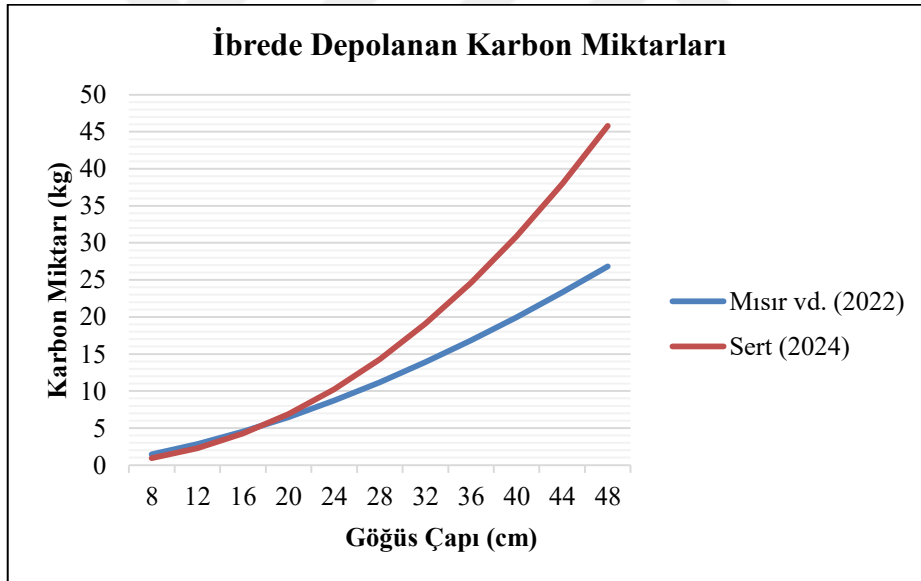
TEK AĞAÇ BİLEŞENLERİNE AİT KARBON DEPOLAMA MİKTARLARI (kg)										
ÇAP	GÖVDE		DAL		İBRE		KABUK		AĞAÇ	
	Mısır vd. (2022)	Sert (2024)	Mısır vd. (2022)	Sert (2024)	Mısır vd. (2022)	Sert (2024)	Mısır vd. (2022)	Sert (2024)	Mısır vd. (2022)	Sert (2024)
8	3.81	3.21	1.91	1.06	1.46	0.95	0.85	0.79	7.59	6.90
12	10.85	10.07	4.25	2.48	2.83	2.29	2.06	2.02	19.78	18.96
16	22.79	22.65	7.50	4.53	4.51	4.27	3.85	3.94	39.03	38.84
20	40.55	42.48	11.64	7.22	6.48	6.91	6.25	6.61	66.11	67.75
24	64.92	71.01	16.68	10.56	8.71	10.24	9.30	10.08	101.70	106.73
28	96.65	109.65	22.61	14.58	11.19	14.29	13.00	14.42	146.36	156.74
32	136.42	159.75	29.42	19.27	13.90	19.07	17.38	19.66	200.63	218.65
36	184.90	222.64	37.12	24.65	16.82	24.60	22.46	25.83	264.99	293.27
40	242.70	299.62	45.69	30.72	19.96	30.89	28.24	32.99	339.86	381.36
44	310.40	391.95	55.14	37.49	23.30	37.96	34.75	41.15	425.66	483.64
48	388.58	500.88	65.47	44.96	26.84	45.81	41.99	50.35	522.77	600.80



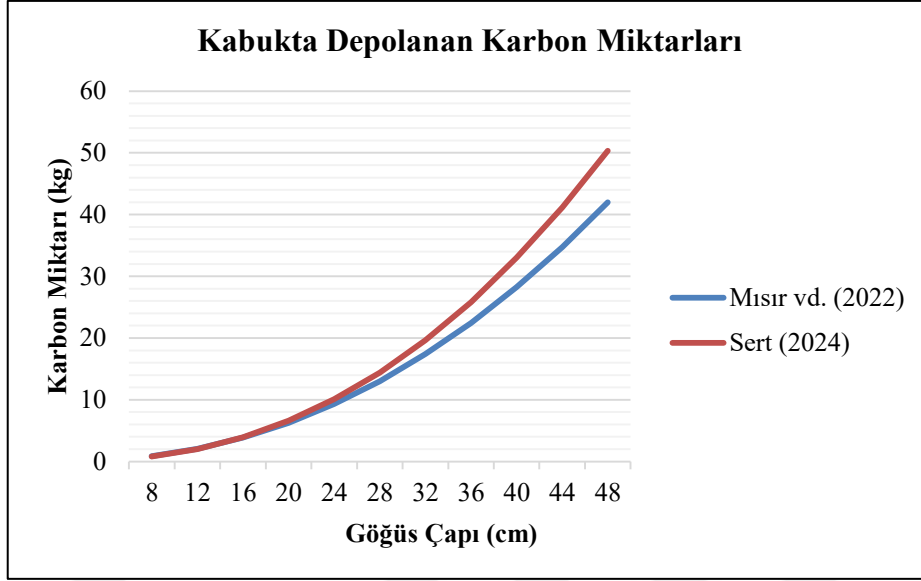
Şekil 14. Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının gövdesinde depolanan karbon miktarı (kg)



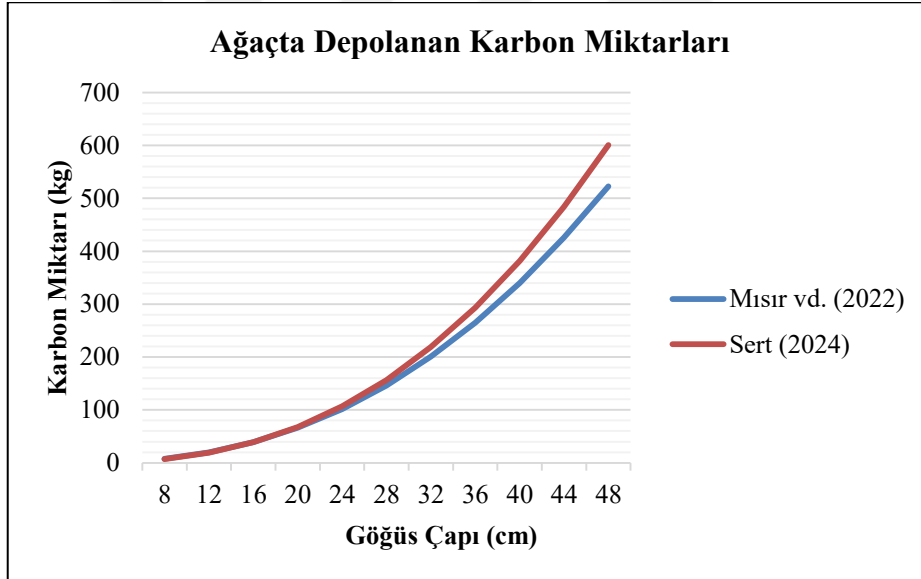
Şekil 15. Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının dalında depolanan karbon miktarı (kg)



Şekil 16. Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının ibresinde depolanan karbon miktarı (kg)

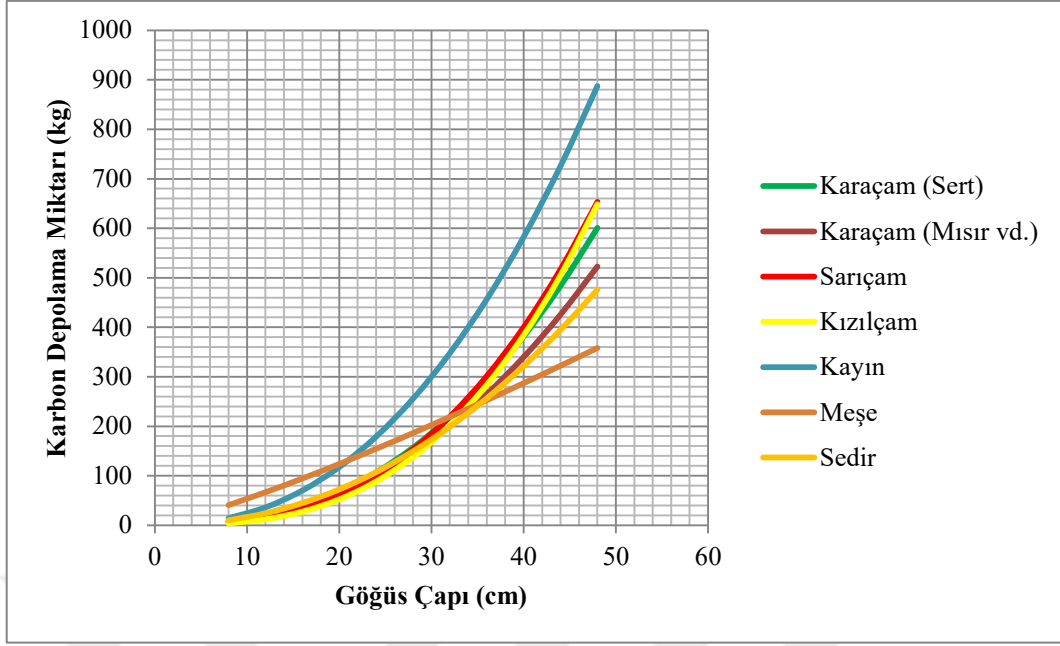


Şekil 17. Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacının kabuğunda depolanan karbon miktarı (kg)



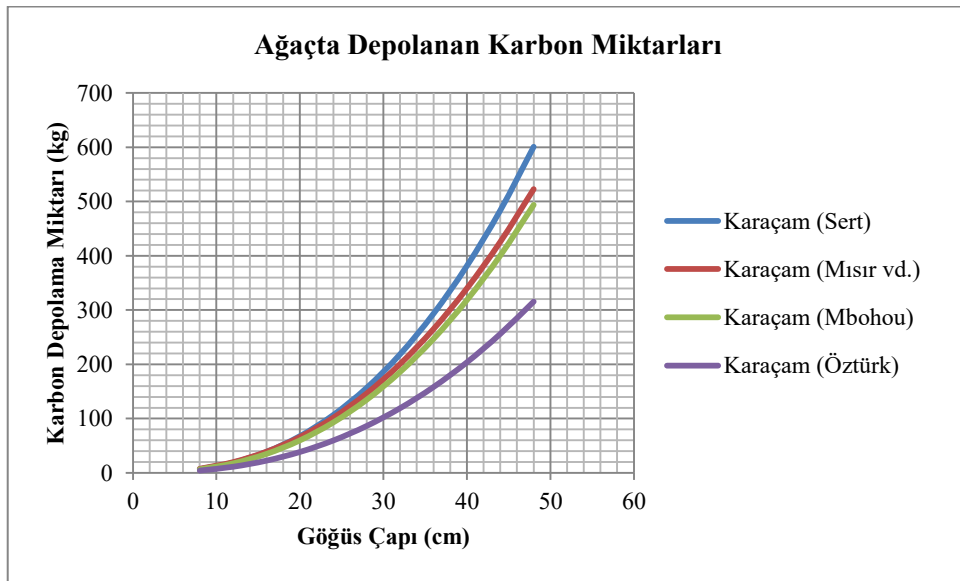
Şekil 18. Mısır vd. (2022) ve Sert (2024) karaçam ağacında depolanan karbon miktarı (kg)

Mısır vd. (2022), karaçamın hakimiyetindeki ikili karışıma giren 6 farklı tür ile Sert (2024) karaçam ağaçlarında yapmış oldukları çalışmalarda ağaçta depolanan karbon miktarları Şekil 20’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre ağaçta depolanan karbon miktarları en çoktan en aza doğru kayın, sarıçam, kızılçam, karaçam (Sert, 2024), karaçam (Mısır vd., 2022), sedir ve meşedir.



Şekil 19. Karaçam ağaçlarında depolanan karbon miktarının karşılaştırılması

Şekil 21’de karaçam ağacında depolanan karbon miktarının belirlenmesi üzerine yapılan 4 farklı çalışma gösterilmektedir. Geliştirilen ağaç karbon depolama miktarına ilişkin denklemler kullanılarak hazırlanan grafikte aynı tür ve aynı çap değerleri olmasına rağmen farklı sonuçlar çıkmaktadır. Bunun nedeni çalışmaların yapıldığı bölgelerdeki yetiştirme ortamı koşullarının farklı olmasından kaynaklı aynı göğüs çapına sahip ağaçların farklı boylara sahip olabilmeleridir.



Şekil 20. Karaçam ağacında depolanan karbon miktarlarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan saf karaçam meşcerelerinde toprak üstünde depolanan karbon miktarları araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ağaç ve bileşenlerinin karbon depolama modelleri ve karbon depolama miktarları ile diri örü, ölü örtü ve ölü odunda depolanan karbon miktarları bulunmuştur. Bulunan sonuçlar yapılan farklı çalışmalardaki hem karaçam hem de farklı türlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında aynı türden aynı göğüs çapı değerine sahip ağaçlarda depolanan karbon miktarlarının farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bununla en büyük nedeni çalışmaların yapıldığı bölgelerdeki yetişme ortamı koşullarının farklı olmasından dolayı aynı göğüs çapına sahip ağaçların farklı boylara sahip olabilmeleridir. Aynı göğüs çapı değerine sahip olsalar bile farklı boylarda olduklarından ağaç hacim değerleri farklı çıkmaktadır. Buda karbon depolama miktarını etkilemektedir.

Ülkemizde karbon depolama miktarını hesaplamada katsayılar kullanılmaktadır. Bu katsayılar ülke bazında yapraklı, ibrelili veya karışık ve verimli veya bozuk ormanlar şeklinde farklı katsayılar ve toplam servet üzerinden hesaplanmaktadır. Yapılan bu çalışmada da görüldüğü üzere aynı türe ait modeller karşılaştırıldığında dahi sonuçlar farklı çıkmaktadır. Bunun nedeni yetişme ortamı koşullarına bağlı olarak ağaçların büyümesindeki farklılıklardır. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda ülke bazından ziyade daha çok yöresel bazda yapılmalıdır. Ayrıca tür ayırımına, saf veya karışık olmasına ve verimli veya bozuk yapıda olduğuna dair ayrımlara gidilerek doğru sonuca en az hatayla ulaşılmış olunabilir.

6. KAYNAKLAR

- Adams, R. M., Hurd, B. H., Lenhart, S. & Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: An interpretative review. *Climate Research*, 11, 19- 30.
- Aksoy, K.O. & Arslan, E. S. (2022). Kentlerde İklim Değişikliğinin Olası Etkilerinin Azaltılmasında Yeşil Altyapı ve Ekosistem Hizmetlerinin Rolü. *İnsan ve İnsan* , 9 (33) , s 53-62 .
- Almansouri, E.H.M. (2022). Farklı meşcere türlerinde Ölü Örtü ve Topraktaki Karbon Miktarının Belirlenmesi, K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kastamonu
- Andrzej , M.J., Marjin, K.D. & Pawel, H. (2020), Differences in Biomass Production and Carbon Sequestration Between Highland and Lowland Stands of Picea Abies (L.) H. Karst. and Fagus Sylyatica L., *Forest Ecology and Management*, 474 (118329)
- Anşin, R. (1994). Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae (Açık Tohumlular), K.T.Ü. Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 122, Fakülte Yayın No: 15, I. Cilt, II. Baskı, K.T.Ü. Basımevi, 142-151, Trabzon
- Aslan, A. (2023). Yangın Sonrası Doğal Gençleşen Kızılçam Meşcerelerinin Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Depolama Kapasitelerinin Belirlenmesi: Antalya-Gazipaşa Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul
- Bülbül, E. (2012). K.T.Ü. Orman Fakültesi Eğitim ve Araştırma Ormanı Saf Ladin Meşcerelerinin Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Çiftçi, N.B. (2019). Gençlik Çağındaki Karaçam (P.Nigra) Meşcerelerinde Toprak Üstü Karbon Miktarının Araştırılması, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu
- Çevre ve Orman Bakanlığı, Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (Land Use, Land-Use Change and Forestry-LULUCF) Çalışma Grubu Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2006
- Çömez, A. (2010), Sündiken Dağlarında Sarıçam (Pinus Sylvestris L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2010
- Duyar, A. (2018). Türkiye Topraklarında Karbon Yönetimi Carbon Management in Soils of Turkey, Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Akademik Araştırmalar, s. 57-73
- Ergin, M. (2022). İklim Değişikliğinin Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Sınırlarındaki Bazı Ağaç Türlerinin Yayılışına Etkilerinin Tahmini, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

- Erkut, S. (2013). Giresun Orman Bölge Müdürlüğü Akkuş Orman İşletme Müdürlüğü Saf Kayın Meşcerelerinin Ekosistem Bazında Karbon Depolama Kapasitesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Jagodzinski, A.M., Dyderski, M.K., Gesikiewicz, K. & Horodecki, P., (2019). Tree and Stand Level Estimations of *Abies Alba* Mill. Aboveground Biomass, annals Of Forest Science, Cilt 76,
- Kahyaoğlu, N. (2017). Sinop Yöresi Doğu Kayını (*Fagus Orientalis* Lipsky.) Ormanlarının Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon
- Kanlı, K. (2022). Subasar Ormanı Dişbudak (*Fraxinus L.*) Meşcerelerinde Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Birikimi, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa
- Kayranlı, B., Scholz, M., MuatF, A., Hedmark, A., (2010). Carbon Strage and Flexes Within Freshwater Wetlands: A Critical Review, Wetlans, 30, 111-124
- Kolanya, H. D. (2022). İklim Değişikliğini Azaltım ve Uyum Süreçlerinde Mera Alanlarının Önemi, Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, 1, ss. 128-157
- Korkanç, S.Y. (2004). Sulak Alanların Havza Sistemi İçindeki Yeri, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 6 (6), 117-126, Bartın
- Lim, A.B. (2012). Torosların İç Kısımında Kermes Meşesi Ağırlıklı Makilik Alanların Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Depolama Kapasitesi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Makineci, E., Yılmaz, E., Kumbaşı, M., Yılmaz, H., Çalışkan, S., Sevgi, O., Ketten, A., Zengin, H., Beşkardeş, V. & Özdemir, E. (2011). Kuzey Trakya Koruya Tahvil Meşe Ekosistemlerinde Sağlık Durumu, Biyokütle, Karbon Depolama ve Faunistik Özelliklerin Belirlenmesi, TUBİTAK-TOVAG Projesi (Proje No: 1070O750), İstanbul,
- Mbohhou, M.B. (2023). Modeling of Biomass and Carbon Storage for Anatolian Black Pine (*Pinus Nigra* Arnold Subsp. *Pallassiana* (Lomb.) Holmboe) – Turkish Red Pine (*Pinus Brutia* Ten.) ixed Forests in Türkiye Using Artifical Neural Networks, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon
- Mısıır, M. (2001). Çok Amaçlı Amenajman Planlarının Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Olarak Amaç Programlama Yöntemi ile Düzenlenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon
- Mısıır M. & Mısıır N. (2021). Orman Yangınlarının İklim Değişikliği Açısından Değerlendirilmesi (Evaluation of Forest Fires in Terms of Climate Change), Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), Orman Yangınları, Sebepleri, Etkileri, Gözlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri Kitabı, 63- 87.

- Mısır, M., Mısır, N. & Yıldız, A. (2019). Determining Carbon Sequestration Using Remote Sensing, 2nd International Symposium of Forest Engineering and Technologies, 102, Tirana, Albania,
- Mısır, M., Mısır, N. & Erkut S. (2012). Estimations of Total Ecosystem Biomass and Carbon Storage for Fir (*Abies Nordmanniana* S. subsp. *Bornmülleriana* (Mattf.)) Forests (Western Black Sea Region), 14th IUFRO Fir Symposium, Kastamonu,
- Mısır, M., Mısır, N., Ülker, C. & Erkut, S. (2013). Saf Kayın Meşcerelerinin Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi (Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Örneği), Bilimsel Araştırma Projesi, Trabzon
- Mısır, M., Mısır, N., Yavuz, H., Karahalil, U., Korkanç, S.Y., İnce, K., Yıldız, A. & Kara, Ö., (2022) Saf ve Karışık Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.)) Doğal Meşcereleri İçin Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi, TÜBİTAK Projesi (Proje No: 118O311), Trabzon,
- Mısır, N., Mısır, M. & Öztürk, G. (2019). İklim Değişikliği Üzerine Ormancılık Uygulamalarının Etkisi,
- Mısır, N., Mısır, M. & Ülker, C. (2011). Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş, 300-305.
- Özkaya M.S. (2004). Artvin Genya Dağı Yöresi Doğu Ladini Ormanlarında Toprak Üstü Biyokütlenin Belirlenmesi, K.A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Kars
- Öztürk, G. (2022). Saf Karaçam ve Karaçam Kızılçam Karışık MEşcerelerinde Ekosistem Bazında Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi: Gediz Orman İşletme Müdürlüğü Örneği, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Paustian, K., Six, J., Elliot, E. T. & Hunt, H. W. (2000). Management options for reducing CO2 emissions from agncultural soils . *Biogeochemisıry*, 48, s 147-163.
- Pirizoğlu, A. (2019). Sıklık Çağındaki Karaçam (P.Nigra) Meşcerelerinde Toprak Üstü Karbon Miktarının Araştırılması, K.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu
- Saatçioğlu, F. (1976), Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri (Silvikültür I.), İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 2187 (222), 423 sayfa,
- Sakıcı, O. E. & Akyıldız, M. H. (2016). Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Saf Karaçam (*Pinus Nigra* J.F. Arnold) Meşcereleri İçin Toprak Üstü Biyokütle Ve Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi, Uyumlu Hacim Ve Biyokütle Denklemlerinin Geliştirilmesi ve Hacim Yoğunluk Değeri – Biyokütle İlişkilerinin Araştırılması, TUBİTAK-3501-Kariyer Projesi (Proje No: 214O217), Kastamonu,

- Seedre, M., Janda, P., Trotsiuk, V., Hedwall, P.O., Morrissey, R.C., Mikoláš, M., Bače, R., Čada, V. & Svoboda, M. (2020). Biomass carbon accumulation patterns throughout stand development in primary uneven-aged forest driven by mixed-severity natural disturbances, *Forest Ecology and Management*, Volume 455,
- Serengil, Y. (2018). İklim Değişikliği Ve Karbon Yönetimi Tarım/Orman Ve Diğer Arazi Kullanımları, 109, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, s 109-110, Ankara
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P. & Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, 363(1492), 789- 813.
- T.C. Resmi Gazete (1998). Mera Kanunu,
- T.C. Resmi Gazete (2014). Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği, 28962
- T.C. Resmi Gazete (2017). Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Yönetmelik, 30265
- Tang, J.W., Cao, M., Zhang, J.H. & Li, M.H. (2012). Litterfall production, decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in Xishuangbanna, SW China: a 10-year study, *Plant Soil*, 335, 271-288
- Tat, S. (2022). Kahramanmaraş Başkonuş Araştırma Ormanında Farklı Ağaç Türlerinde Ölü Örtü, Ölü Odun Ve Toprak Organik Karbon Miktarının Belirlenmesi Üzerine Araştırma, K.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kahramanmaraş
- Tolunay, D. (2009). Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35, 265-279, TÜBİTAK
- Topaldemir, H. & Taş, B. (2022). İklim Değişikliğinin Sulak Alan Ekosistemleri Üzerindeki Etkisi: Yeşilırmak Deltası Sığ Sulak Alanlarda Bir İnceleme, *International Conference On Chemical And Biological Science*, 89-98
- Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumagi, M. & Lohmus, K. (2012), Biomass Production and Carbon Sequestration in a Fertile Silver Birch (*Betula Pendula* Roth) Forest Chronosequence, *Forest Ecology and Management*, 267, 117-126
- URL 1. (2024, Ekim 10). <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>
- URL 2. (2023, Haziran 2), TEMA, https://web.archive.org/web/20160305175041/http://toprak.tema.org.tr/web_20002_1/entitalfocus.aspx?primary_id=9086&type=1634&target=categoriall&detail=single&sp_table=&sp_primary=&sp_table_extra=&openfrom=sortial
- URL 3. (2023, Mayıs 23). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm>
- URL 4. (2023, Mayıs 13). <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%27nin%20A%C4%9Fa%C3%A7%20ve%20%C3%87al%C4%B1lar%C4%B1.pdf>

- URL 5. (2023, Ekim 10). <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>
- URL 6. (2023, Haziran 20) <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Yayinlar/Orman%20Atlası.pdf>.
- URL 7. (2024, Mart 15), OGM, Ormanlarımızda Yayılış Gösteren Asli Ağaç Türleri, <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Yayinlar/Asli%20Ağaç%20Türleri.pdf>
- URL 8, (2023, Ekim 5). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ANKARA>
- URL 9. (2023, Temmuz 15). <https://www.ogm.gov.tr/ankaraobm/ormanlarimiz/orman-varligi>
- Vurarak, Y., & Bilgili, M.E. (2015). Tarımsal Mekanizasyon, Erozyon ve Karbon Salınımı: Bir Bakış, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30, 307-316
- Whiting, G.J., & Chanton, J.P, (2001). Greenhouse Carbon Balance of Wetlands: Methane Emission Versus Carbon Sequestration, *Tellus B.*, 53, 521-528
- Yaltırık, F. (1988), *Dendroloji Ders Kitabı I. Gymnospermae*, Orman Fakültesi Yayınları, 3443 (386), 320 sayfa,
- Yaltırık, F. & Akkemik, Ü. (2011). Türkiye'nin Doğal Gymnospermeleri (açık Tohumlular), T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, 214 sayfa, Ankara
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., Tüfekçioglu, A., Karahalil, U., & Küçük, M. (2010) Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri İçin Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi, TÜBİTAK Projesi (Proje No: 106O274), Trabzon,
- Yıldız, A. (2021). Adana-Feke Yöresi Karaçam Meşcerelerinin Kök Kütlesi ve Depoladığı Karbon Miktarının Belirlenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Zhao, M., Yang, J., Zhao, N., Liu, L., DU, L., Xiao, X., Yue, T. & Wilson, J.P. (2021). Spatially explicit changes in forest biomass carbon of China over the past 4 decades: Coupling long-term inventory and remote sensing data, *Journal of Cleaner Production*, Volume 316

ÖZGEÇMİŞ

Aytaç SERT, ilköğrenimini Hatay Payas Çağlalık ilköğretim okulunda 2012 yılında tamamladı. Ortaöğrenimini Hatay Dört Yol Atatürk Anadolu Lisesi'nde 2016 yılında tamamladı ve aynı yıl K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü'ne başladı. Başladığı Lisans eğitimini 2020 yılında bitirdi ve yine aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen öğrenimine devam etmekte olup orta derecede İngilizce bilmektedir.

