

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERDEN
AĞAÇLARIN TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE TAHMİNİ VE KARBON
DEPOLAMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Ayşenur AKPINAR

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Haziran 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERDEN
AĞAÇLARIN TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE TAHMİNİ VE KARBON
DEPOLAMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Ayşenur AKPINAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haziran 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERDEN
AĞAÇLARIN TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE TAHMİNİ VE KARBON
DEPOLAMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Ayşenur AKPINAR
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21/06/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serdar SELİM (Danışman)

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ (Asıl)

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUĞLUER (Asıl)

ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERDEN AĞAÇLARIN TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE TAHMİNİ VE KARBON DEPOLAMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Ayşenur AKPINAR

Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri
Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Serdar SELİM

Haziran 2022; 72 sayfa

Dünya, küresel iklim değişimi, nüfus artışı, küresel ısınma, kentsel büyüme, arazi değişimleri, sera etkisi gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Bu gelişmeler, plantasyon ormanları da dâhil olmak üzere tüm arazi kullanım sistemlerinde biyokütle karbonunu tahmin etmek için sağlam ve uygulanabilir yöntemlere açık bir ihtiyaç yaratmıştır.

Bu çalışmada, insansız hava aracı (İHA) görüntüleri kullanılarak bireysel ağaçların biyokütle ve karbon kapasitelerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada test verisi olarak *Citrus aurantium* (turunc) kullanılmış, İHA görüntülerinin işlenmesi ile elde edilen biyokütle ve karbon verilerinin doğruluğu, geleneksel yöntemler kullanılarak üretilen değerler ile karşılaştırılmış ve optimizasyon için denklemler oluşturulmuştur. Bu kapsamda çalışma İHA görüntülerinden ve arazi verilerinden karbon ve biyokütle değerlerinin tahmin edilmesi olmak üzere iki kısımda yürütülmüştür. İHA verilerinin fotogrametrik yöntemler ile işlenmesiyle ağaçlara ait katı hacimler çıkarılmıştır. Arazi verilerinden ise ağaçların katı hacimleri, gerçek hacimleri, toprak üstü biyokütle ve karbon tutabilme kapasiteleri geleneksel yöntemlerle elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda ağaçların toprak üstü biyokütle ve karbon tutum kapasitelerinin tahmin edilebilmesi için regresyon denklemleri üretilmiştir. Üretilen denklemler üstel, doğrusal, polinom ve üssel eğim çizgilerine ait denklemlerdir. Bu denklemler İHA verilerinden elde edilen ağaçların katı hacimlerden, arazi verilerinden elde edilen gerçek hacimlere dönüşümü ve hacimden biyokütleye geçiş entegrasyonu için kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre: Karbiyosis yazılımından elde edilen ortalama toprak üstü biyokütle değeri 38.595,17 gr, karbon depolama kapasitesi ise 17.651,38 gr olarak tahmin edilmiştir. İHA verilerinden elde edilen katı hacimden, arazi verilerinden elde edilen gerçek hacime üstel denklem ile üretilen ortalama toprak üstü biyokütle değeri 32.552,68 gr iken toprak üstü karbon değeri ise 15.625,29 gr'dır. 2. dereceden polinom denklemi ile üretilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ise sırasıyla 37.550,57 gr ve 18.024,27 gr'dır. İHA verilerinden elde edilen katı hacimden, Karbiyosis'den elde edilen biyokütle, üstel denklem ile üretilen ortalama toprak üstü biyokütle değeri 37.151,91 gr iken toprak üstü karbon değeri ise 17.832,91gr'dır. 2. dereceden polinom denklemi ile üretilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ise sırasıyla 36.839,78 gr ve 17.683,09 gr'dır. İHA verilerinden elde edilen katı hacimden, arazi verilerinden elde edilen gerçek hacime, polinom denklemleri ile üretilen biyokütle değerlerinin Karbiyosis sonuçları ile karşılaştırılmasıyla elde edilen uyumluluklar %85 ve %84 iken karbon için

uyumluluk ise %86 ve %84'tür. İHA verilerinden elde edilen katı hacimden, Karbiyosis'den elde edilen biyokütle, üstel ve 2. dereceden denklemleri ile üretilen biyokütle ve karbon değerlerinin Karbiyosis sonuçları ile karşılaştırılmasıyla elde edilen uyumlulukların tümü ise %86'dır.

Sonuç olarak, İHA görüntüleri kullanılarak bireysel ağaçlara yönelik hacim, biyokütle ve karbon tutum tahminleri yüksek doğrulukta elde edilmiştir. Bu çalışma, uzaktan algılama teknolojilerinin küresel iklim değişikliği kapsamında önemli bir veri olan karbon hesabının yapılabilmesinde kullanılabilir ve uygulanabilir olduğunu doğrulamaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Citrus aurantium, İHA, Toprak Üstü Biyokütle, Karbon tutma kapasitesi, Uzaktan algılama

JÜRİ: Doç. Dr. Serdar SELİM

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TUĞLUER

ABSTRACT

ESTIMATING ABOVE GROUND BIOMASS AND DETERMINATION OF CARBON STORAGE CAPACITY OF TREES FROM IMAGES ACQUIRED BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ayşenur AKPINAR

**MSc Thesis in Remote Sensing and Geographical Information Systems
Department**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. SERDAR SELİM

June 2022; 72 pages

The world is facing many challenges such as global climate change, population growth, global warming, urban growth, land changes and greenhouse effect. These challenges have created a clear need for a robust and applicable methods for estimating biomass carbon in all land use systems, including plantation forests.

This study aimed to estimate the biomass and carbon capacities of individual trees using unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Citrus aurantium* (orange) was used as test data, the accuracy of the biomass and carbon data obtained by processing the UAV images were compared with values produced using traditional methods and equations were created for optimization. In this context, the study was carried out in two parts, estimating carbon and biomass values from UAV images and field data. Solid volumes of trees were extracted by processing the UAV data with photogrammetric methods. From the field data, solid volumes, real volumes, above-ground biomass and carbon sequestration capacities of the trees were obtained by traditional methods. In line with the obtained data, regression equations were produced to predict the above-ground biomass and carbon sequestration capacities of trees. The generated equations are exponential, linear, polynomial and exponential slope lines. These equations are used for the conversion of trees from solid volumes to real volumes obtained from field data and integration of transition from volume to biomass.

Following results are found: The average above-ground biomass value obtained from Karbiyosis software was estimated as 38,595.17 gr, and the carbon storage capacity was estimated as 17,651.38 gr. The average above-ground biomass value produced by the exponential equation from the solid volume obtained from the UAV data to the actual volume obtained from the field data is 32,552.68 g, while the above-ground carbon value is 15,625.29 gr. Above-ground biomass and carbon values produced by the 2nd degree polynomial equation are 37,550.57 gr and 18,024.27 gr, respectively. From the solid volume obtained from the UAV data to the biomass obtained from Karbiyosis, the average above-ground biomass value produced by the exponential equation is 37,151.91 gr, while the above-ground carbon value is 17,832.91 gr. Above-ground biomass and carbon values produced by the 2nd degree polynomial equation are 36,839.78 gr and 17,683.09 gr, respectively. Results found by comparing the solid volume obtained from the UAV data to the real volume obtained from the field data, the biomass values produced by polynomial equations with the Karbiyosis results, are 85% and 84%, while

the compatibility for carbon is 86% and 84%. The solid volume obtained from the UAV data to the biomass obtained from the Karbiyosis, the overall compatibility obtained by comparing the biomass and carbon values produced with the exponential and 2nd order polynomial equations with Karbiyosis results is 86%.

In this thesis, estimations of volume, biomass and carbon sequestration for individual trees were obtained with high accuracy using UAV images. This study confirms that remote sensing technologies can be used and applied in carbon calculation, which is an important data within the scope of global climate change.

KEYWORDS: Above Ground Biomass, Carbon sequestration capacity, Citrus aurantium, Remote sensing, UAV

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Serdar SELİM

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Asst. Prof. Dr. Mahmut TUĞLUER

ÖNSÖZ

Dünya, küresel iklim değişimi, nüfus artışı, küresel ısınma, kentsel büyüme, arazi değişimleri, sera etkisi, gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Bu tez çalışmasında İnsansız hava araçları görüntüleri kullanılarak bireysel ağaçların biyokütle ve karbon kapasitelerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda küresel iklim değişikliği ile mücadelede en büyük rolü üstlenen ağaçlara herhangi bir zarar vermeden, önemli bir veri kaynağı olan karbon hesabının yapılabilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmayı yaparken öncelikle bilgisi ve deneyimiyle başarılı bir şekilde ilerlememi sağlayan değerli danışmanım Doç.Dr. Serdar SELİM'e, veri kaynağı, teknik ve bilimsel altyapısı Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı'na ve Öğretim Üyelerine, katkıları, değerlendirmeleri ve yönlendirmeleri için tüm jüri üyelerine ve maddi manevi olarak her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. İklim Değişikliklerinin Türkiye Üzerindeki Olası Etkileri.....	5
2.2. Kentleşme ve Nüfus Artışı	6
2.2.1. Kentleşme ve nüfus artışı biyoçeşitliliğe etkisi	8
2.3. Uzaktan Algılama Teknolojileri ve İnsansız Hava Araçları	8
2.3.1. Uzaktan algılama	8
2.3.2. Coğrafi bilgi sistemi.....	9
2.3.3. Bilgi sistemleri ve fotogrametri	10
2.3.4. İHA	10
2.3.4.1. İHA fotogrametrisi ile ölçme	11
2.3.4.2. İHA fotogrametrisinin hedefi ve işlem adımları.....	11
2.4. Karbon ve Biyokütle Belirleme Yöntemleri.....	12
2.4.1. Karbon	12
2.4.1.1. Karbon stoku.....	12
2.4.2. Biyokütle.....	13
2.4.2.1. Birim alan yöntemi	13
2.4.2.2. Orta ağaç yöntemi	14
2.4.2.4. Uzaktan algılama yöntemleri	15
2.4.3. Allometrik biyokütle denklemleri (ABD) yöntemi	19
2.4.4. Biyokütle genişletme faktörü (BEF) yöntemi.....	19
3. MATERYAL VE METOT.....	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Çalışma alanı.....	20

3.1.2. Veri seti.....	21
3.1.2.1. İHA veri seti.....	21
3.1.2.2. Arazi veri seti.....	22
3.2. Metot.....	23
3.2.1.İHA verilerinden ağaç taç hacminin çıkarımı.....	25
3.2.1.1. Hazırlık aşaması.....	25
3.2.1.2. Taç hacimlerinin çıkarımı.....	26
3.2.2. Arazi verilerinden ağaçların hacimlerinin hesaplanması, biyokütle ve karbon depolama kapasitelerinin tahmini	26
3.2.2.1. Hacim-3 çıkarımı	26
3.2.2.2. Hacim-4 çıkarımı ve karbon depolama kapasitesinin tahmini.....	26
3.2.2.3. Biyokütle ve karbon kapasitelerinin tahmini	27
3.2.3. Regresyon denklemlerinin üretilmesi	28
3.2.4. FRA 2010’a göre karbon hesaplamaları	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1. İHA Verilerinden Hacim-1 ve Hacim-2 Değerlerinin Elde Edilmesi	30
4.1.1. Hacim-1 değerleri	31
4.1.2. Hacim-2 değerleri	32
4.2. Arazi Verilerinden Ağaçların Biyokütle, Karbon, Hacim-3 ve Hacim-4 Değerlerinin Elde Edilmesi	33
4.2.1. Hacim-3 değerleri	34
4.2.2. Hacim-4 değerleri ve karbon depolama kapasiteleri	35
4.2.3. Karbiyosis	36
4.3. Regresyon Denklemleri	37
4.3.1. Hacim-1’den Hacim-4’e regresyon denklem üretimleri.....	37
4.3.2. Hacim-1’den biyokütle (Karbiyosis)’e regresyon denklem üretimleri	41
4.4. FRA 2010’a göre Karbon Tahminleri	44
4.5. Verilerin Karşılaştırılması	46
5. SONUÇLAR	57
6. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İnsansız Hava Aracı İle Elde Edilen Görüntülerden Ağaçların Toprak Üstü Biyokütle Tahmini ve Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/06/2022

Ayşenur AKPINAR

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: Santigrat derece
C	: Carbon(Karbon)
CO ₂	: Karbondioksit
cm	: Santimetre
m	: Metre
m ³	: Metre küp
gr	: Gram
kg	: Kilogram
gb	: Gigabayt
“01,01”	Ondalık Ayracı

Kısaltmalar

ABD	: Allometrik Biyokütle Denklemleri
BEF	: Biyokütle Genişletme Faktörü
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CHM	: Canopy Height Model (Kanopi Yükseklik Modeli)
d	: Gövde çapı
DEM	: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modelini)
DGH	: Dikili Gövde Hacmi
DSM	: Digital Surface Model (Dijital Yüzey Modeli)
DTM	: Digital Terrain Model (Dijital Arazi Modeli)
FRA 2010	: The Global Forest Resources Assessment 2010 (Küresel Orman Kaynakları Değerlendirmesi 2010)
GLAS	: Geoscience Lazer Altimetre Sistemi
GSD	: Ground Sampling Distance (Yer örneklem mesafesi)

h	: Ağaç yüksekliği
İHA	: İnsansız Hava Aracı
IPCC	: Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli (İngilizce: Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISODATA	: Iterative Self Organizing Data Analyses Tecnique (Tekrarlı veri Analizi Yöntemi)
LIDAR	: Light Detection and Ranging (Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini)" anlamına gelen "Light Detection and Ranging"
nDSM	: Normalized Digital Surface Model (Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli)
ÖOK	: Ölü Odundaki Karbon
ÖÖK	: Ölü Örtüdeki Karbon
RADAR	:Radio Detection and Ranging (Radyo Algılama ve Menzil)
SAR	: Synthetic Aperture Radar (Sentetik Açıklıklı Radar)
TAB	: Toprak Altı Biyokütle
TAK	: Toprak Altı Karbon
TIN	: Triangulated Irregular Network(Düzensiz Üçgen ağı)
TÜB	: Toprak Üstü Biyokütle
TÜK	: Toprak Üstü Karbon
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change(Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
GNSS	: Global Navigation Satellite System(Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)
3B	: 3 Boyut

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu	20
Şekil 3.2. Otonom uçuş planlaması.....	21
Şekil 3.3. Otonom uçuş ayarlarının belirlenmesi.....	22
Şekil 3.4. Ölçüm yapılan dallara ait görüntüler	23
Şekil 3.5. Yöntem akış şeması	24
Şekil 4.1. İHA görüntülerinden üretilen veriler a) Ortofoto; b) DSM; c) DTM.....	30
Şekil 4.2. İHA görüntülerinden üretilen veriler a) nDSM; b) Isodata algoritması ile sınıflandırılmış görüntü; c) nDSM üzerinde açılmış ağaçların taçlarına ait poligonlar ..	31
Şekil 4.3. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen üstel denklem, R^2 değeri ve grafiği	38
Şekil 4.4. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen doğrusal denklem, R^2 değeri ve grafiği	38
Şekil 4.5. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 2. dereceden polinom denklem, R^2 değeri ve grafiği	39
Şekil 4.6. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen üssel denklem, R^2 değeri ve grafiği.....	40
Şekil 4.7. Hacim-1'den biyokütleyle üretilen üstel denklem, R^2 değeri ve grafiği	41
Şekil 4.8. Hacim-1'den biyokütleyle üretilen doğrusal denklem, R^2 değeri ve grafiği ...	42
Şekil 4.9. Hacim-1'den biyokütleyle üretilen 2.dereceden polinom denklem, R^2 değeri ve grafiği	42
Şekil 4.10. Hacim-1'den biyokütleyle üretilen üssel denklem, R^2 değeri ve grafiği	43
Şekil 4.11. Hacim-1 ve Hacim-3 değerlerinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.12. Hacim-4'den üretilen biyokütleler ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması	47
Şekil 4.13. Hacim-4'den üretilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 4.14. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 1. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması	49
Şekil 4.15. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 3. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması	49
Şekil 4.16. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 1. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması	50

Şekil 4.17. Hacim-1’den Hacim-4’e üretilen 3. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis’den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 4.18. Hacim-1’den biyokütleyle üretilen 1. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis’den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.19. Hacim-1’den biyokütleyle üretilen 3. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis’den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.20. Hacim-1’den biyokütleyle üretilen 1. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis’den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 4.21. Hacim-1’den biyokütleyle üretilen 3. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis’den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. FRA 2010'a göre karbon hesaplaması.....	27
Çizelge 4.1. İHA görüntülerinden elde edilen DSM ve nDSM verileri ile oluşturulan her bir ağaç için hacim değerleri (nDSM=Hacim-1)	32
Çizelge 4.2. Ağaçlara ait taç ve yükseklik verileri (h=0 m'den en üst seviyesine)	33
Çizelge 4.3. Taç şekil modellerinden taç hacim tahminleri (Hacim-2)	33
Çizelge 4.4. Arazi çalışmaları ile elde edilen her bir ağaca ait veriler	34
Çizelge 4.5. Taç şekil modellerinden taç hacim tahminleri (Hacim-3)	34
Çizelge 4.6. Daldırma yöntemi ile elde edilen ağaç hacim değerleri (Hacim-4)	35
Çizelge 4.7. Hacim-4 verilerinden karbon tutum tahminleri	35
Çizelge 4.8. Karbiyosis yazılımı için arazi çalışmaları ile toplanılan veriler	36
Çizelge 4.9. Karbiyosis yazılımından elde edilen veriler	37
Çizelge 4.10. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen denklemlerden elde edilen veriler	40
Çizelge 4.11. Hacim-1'den biyokütle üretilen verilerin aritmetik ortalamaları, standart sapmaları ve standart hataları.....	44
Çizelge 4.12. Çizelge 4.10'daki toprak üstü biyokütle verilerinden üstel ve 2. dereceden polinom kullanılarak üretilen biyokütle ve karbon tahminleri.....	45
Çizelge 4.13. Toprak üstü biyokütle verilerinden üstel ve 2. dereceden polinom kullanılarak üretilen biyokütle ve karbon tahminleri	45
Çizelge 5.1. Üç farklı yöntemle elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon tahminleri	57
Çizelge 5.2. İHA verilerinden elde edilen taç çapları, yükseklik ve hacim değerleri.....	58
Çizelge 5.3. Hacim-1'den Hacim-4'e ve Hacim-1'den biyokütle yöntemleri ile elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerlerinin aritmetik ortalamaları	58

1. GİRİŞ

İnsanlığın neredeyse 10000 yıl önce tarım ile uğraşarak, yerleşik düzene geçmesiyle bugünümüzde yaşanan çevre sorunlarının temelleri atılmıştır. İnsanoğlu gereksinimleri doğrultusunda doğada değişikliklere sebep olmuştur. Nüfus artışı, ekonomik ve teknolojik gelişmeler ile de doğa üzerindeki etkisi ve hakimiyetide artış göstermiştir. Bunların ilk sonucu ise kendini kirlilik olarak göstermiştir. Bu kirlilikler zaman içinde büyüyen teknoloji ile birlikte doğada farklı şekillerde tahribatlar oluşturmuş ve bu tahribatlar sadece kirlenen bölgelerle sınırlandırılmamıştır. Yaşamış olduğumuz yüzyılda ise bu durumun, üst düzeyde etkilerini hissettiğimiz sorunlara yol açmıştır ve bu sorunlardan en önemlilerinden biri ise iklim değişikliğidir.

İklim değişikliğinin bu kadar kritik olmasının nedeni, sosyoekonominin hemen her sektöründe modern teknolojinin de yardımıyla kullanılan fosil yakıtların sonuçları, çeşitli şekillerde de olsa tüm dünyayı etkilemektedir. İnsanoğlunun yapmış olduğu faaliyetlerin neredeyse tamamında sera gazı salınımları bulunmaktadır.

Küresel iklim değişimi ve ısınma sorunu ise sera etkisi ile gerçekleşmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (UNFCCC), zaman diliminde gözlemlenebilir iklim değişikliğine ek olarak, iklim değişikliğinde doğrudan veya dolaylı olarak bozulmaya neden olan insan etkilerinin bir sonucu olarak iklimde meydana gelen değişiklikler olarak isimlendirilmiştir (Çakmak ve Gökalp 2011).

Kentsel büyüme, kentleşen bölgelerde ve çevresindeki arazi örtüsünü önemli ölçüde değiştirerek yaygın bir ekosistem değişikliği yaratır. Mevcut kentsel alan tahminleri, küresel arazi örtüsünün %0,2 ila 3'ü arasında değişmektedir. Bu değişikliklerin çoğu küresel olarak kentsel alanlara atfedildiği için sadece toprakları ve bitki örtüsünü değil, aynı zamanda ve en önemlisi karbon emisyonlarını, kentsel peyzajlardaki karbon havuzları ve akışlarını da etkilemektedir (Richter 2020; Pouyat vd. 2002; Strohbach ve Haase 2012).

Daha fazla arazi alanı, artık küresel olarak, kentsel olmayan alanlardan çıkarak, kentsel arazi kullanımlarına dönüştüğü için sosya-ekolojik kalıpların yanı sıra toprağı fiziksel özelliklerini ve yer üstü biyokütlenin mekansal dağılımını etkilediğinden dolayı, ilgi kazanmıştır (Pouyat vd 2002; Vogt vd. 2015).

Kentsel bitki örtüsü, yerel karbon azaltma stratejilerine de yardımcı olabilir (Nowak ve Crane 2002; McPherson vd. 2005). Potansiyel kentsel karbon yutakları muhtemelen mütevazı olsa da kentsel bitki örtüsü kentsel ekosistemlerin ve karbon döngüsünün hayati bir bileşeni olarak işlev görürken, aynı zamanda kent sakinlerine estetik, ekonomik ve ekolojik değer sağlar (Nowak ve Crane 2002, Raciti vd. 2011).

Birleşmiş Milletler Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2100 yılına kadar küresel sıcaklıkların ortalama 1 ila 3, 5 °C artacağını tahmin edilmektedir. Sonuç olarak, en iyi koşullar altında, sıcaklık her on yılda yaklaşık 0,1 °C artacaktır (IPCC 2001). Bu değişiklikler nedeniyle; Yağış ve sıcaklık modellerindeki farklılıklar, yükselen deniz seviyeleri ve felaketlere ulaşmanın çeşitli sonuçları olacaktır. Fırtınalar, seller, kuraklıklar ve bunun sonucunda çölleşme, biyolojik şeklindeki afetler, sıklıkla ortaya çıkacak ve daha geniş alanlara yayılacaktır. Bunlar ise sorunlardan sadece birkaçıdır

(Karadağ 2016).

İklim değişikliği ve küresel bir ana adım oluşturmak adına 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, yapılmıştır. Yürürlüğe girme tarihi ise 21 Mart 1994'tür. Hemen hemen evrensel bir sözleşme olarak 194 tarafı bulunmaktadır. Sözleşmenin asıl amacı, iklim düzenindeki tehlikeli antropojenik etkiyi önleyecek düzeyde atmosferde sera gazlarının birikmesini durdurmaktır. Sözleşme, iklim sisteminin, bütünlüğü karbondioksit ve diğer sera gazı emisyonlarından, özellikle endüstri ve diğer sektörlerden etkilenebileceğini bildirmektedir (Karadağ 2016).

UNFCCC ile bağlantılı olan Kyoto Protokolü, tüm üye ülkelerden, ormanlardaki karbon stoğu değişikliklerinde yansıtılan karbon emisyonu da dâhil olmak üzere ulusal sera gazı emisyonunu düzenli olarak değerlendirmelerini ve raporlamalarını talep etmektedir. Doğru bir orman karbon stokları envanteri oluşturma ihtiyacı tespit edilmiştir. Temiz Kalkınma Mekanizması, Kyoto Protokolü'nün karbon emisyonu azaltma ve tahminlerinin ekonomik değer kazandığı mekanizmalardan biridir. Bu da iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı özellikle savunmasız ve gelişmekte olan ülkelerde ağaçlandırma/yeniden ağaçlandırma projeleri gibi emisyon azaltma projelerinin Sertifikalı Emisyon Azaltma kredileri kazanmasına olanak tanır. Bu krediler alınıp satılabilir ve sanayileşmiş ülkeler tarafından Kyoto Protokolü kapsamındaki emisyon azaltma hedeflerine ulaşmak için kullanılabilir (Shishlov 2016).

2020'de Kyoto Protokolü sona ermiştir, bundan dolayı, 2020'den sonra yürürlüğe giren Paris Anlaşması, 2015 yılında Fransa'nın Paris şehrinde düzenlenen 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Anlaşma 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girmiştir. 5 Ekim 2016 tarihi itibarıyla, küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafça anlaşmanın, koşulunun yerine getirilmesi sonucunda oluşmuştur (Shishlov 2016).

Yapılan Anlaşmanın uzun vadeli hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 2 °C altında tutmak; Ek olarak, bu artışı 1,5 °C'nin altında tutmak sürdürülen küresel çabaları ifade eder. İklim değişikliğinin negatif sonuçlarına karşı iklim direncinin iyileştirilmesi; Düşük sera gazı emisyonları ile ve uygulamasında gıda üretiminden ödün vermeden kalkınmanın sağlanması da bir diğer önemli hedef olarak ilan edilmektedir. Son olarak, finansal akışları dengelemek, düşük emisyonlara ve iklime dirençli kalkınmaya giden yoldaki hedeflerden biri halindedir (Shishlov 2016).

Dünya, iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Avrupa Birliği Komisyonu bu durum üzerine harekete geçmiştir; 2050 yılına kadar yönettiği coğrafyayı, iklim, çevre ve doğa için hassas ve güvenli hale getirmek amacıyla bir Avrupa Yeşil Mutabakatı yayınlamıştır. Avrupa yeşil mutabakatı tüm Avrupa birliği, uluslararası sürdürülebilir çalışmaların tamamını destekleyip güçlendirmektedir (Avrupa Yeşil Mutabakatı 2019).

Avrupa Yeşil Mutabakatının temel amacı, 2050 yılına kadar iklim açısından nötr hale gelmektir. Planın oluşturulmasını zorlayan nedenler, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, ozon tabakasının incilmesi, su kirliliği, kentsel stres gibi çevresel sorunlara dayanmaktadır. Yapılan planda sera gazı kirliliği ile orantılı olarak karbon vergilendirmelerini içerir. Bunu yapabilmek için Karbon Sınır Ayar mekanizması kullanılır. Bunu başarma mekanizmasına Karbon Sınır Ayar Mekanizması denir (Avrupa

Yeşil Mutabakatı 2019).

Biyokütle karbonunun tahmini, ağaçlandırma ve yeniden ağaçlandırma faaliyetlerini iklim azaltma eylemleri olarak ödüllendiren potansiyel piyasa temelli araçlar nedeniyle büyük ilgi ve önem kazanmıştır. Bu, azalmayan iklim değişikliğinin sürdürülebilir kalkınmayı tehdit ettiğini, insanları ve çevreyi etkileyen diğer baskıları kötüleştirdiğine dair bilimsel kanıt ve fikir birliğini takip eder. Sonuç olarak, iklim değişikliğiyle mücadele için önemli doğa temelli çözümler olarak ortaya çıkan ormanlarla birlikte, iklim değişikliği ve etkileri ile mücadele çağrıları artmıştır (Grassi vd. 2017). Paris Anlaşması, iklim değişikliğiyle mücadele çağrılarını yeni bir ivme kazandırarak, ormanların karbon yutaklarının, rezervuarların bakımı ve iyileştirilmesindeki rolüne daha fazla vurgu yapmıştır (Grassi vd. 2017). Dolayısıyla, anlaşmayı onaylayan ülkelerin taahhüt ettiği gibi ormanların emisyon azaltımlarına katkıda bulunması beklenmektedir. Anlaşma, ülkelerden gönüllü iklim eylemi gerçekleştirmelerini istemenin yanı sıra, ülkeleri ulusal olarak belirlenen katkılarında antropojenik sera gazlarını hesaba katmaya da davet etmektedir. Bu gelişmeler, plantasyon ormanları da dâhil olmak üzere tüm arazi kullanım sistemlerinde biyokütle karbonunu tahmin etmek için sağlam ve uygulanabilir yöntemlere açık bir ihtiyaç yaratmıştır (Mukuralinda vd. 2021).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), REDD + mekanizması kapsamında raporlama yapılırken biyokütle ve karbon stok tahminleriyle birlikte belirsizliklerin tanımlanmasını, belgelenmesini ve raporlanmasını gerektirir (Krug 2014). Biyokütle tahminindeki belirsizlikler, diğerlerinin yanı sıra, bireysel ağaç özelliklerinin (örn. göğüs yüksekliğindeki çap, toplam ağaç yüksekliği) ölçümleri, örnek plan tasarımı (örn. Grafiklerin sayısı, boyutu ve dağılımı), uygulanan uzaktan algılama platformu ve yöntemleri, biyokütle modeli uygulaması nedeniyle ortaya çıkabilir (Clark ve Kellner 2012; Moundounga vd. 2014; Naesset vd. 2016). Bu bağlamda biyokütle modeli uygulamasına ilişkin belirsizlik, yanlış model belirlemeleri, artık değişkenlik ve model parametre tahminlerindeki belirsizlikten kaynaklanıyor olabilir (örneğin; McRoberts ve Westfall 2014, Moundounga vd. 2014 ; Magnussen ve Negrete, 2015). Geliştirilen modellerin parametre tahminlerinin, kovaryans yapısı aracılığıyla belgelendirilebilen model parametre tahminlerindeki belirsizlik, üzerinde büyük etkiye sahiptir ve nadiren rapor edilmektedir (Breidenbach vd. 2014; Magnussen ve Negrete 2015). Bu nedenle, biyokütle tahminindeki belirsizliğin toplamını yayabilmek için gerekli adım, yeni modeller geliştirirken bunu belgelemektir (Asrat 2020).

Bu çalışmada, uzaktan algılama yöntemleri ile doğaya herhangi bir tahribat bırakmadan bireysel ağaçların biyokütle ve karbon kapasiteleri tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada test edilmek üzere seçilen ağaç türü *Citrus aurantium* (turunc) 'dür. Ana veri kaynağı olarak ise İHA ile elde edilen görüntüler kullanılmıştır.

Çalışma iki ana bölüme ayrılmaktadır. Bunlardan ilki İHA verileri ile elde edilen bireysel ağaçların toprak üstü biyokütlesinin ve karbon tutabilme kapasitelerinin tahminidir. İkincisi ise arazi verilerinden elde edilen bireysel ağaçların toprak üstü biyokütlesinin ve karbon tutabilme kapasitelerinin tahminidir. İkinci aşamada elde edilen sonuçlar ilk aşamadaki yani İHA verileri ile elde edilen sonuçların testi ve karşılaştırılması için kullanılmıştır. Bu kapsamda İHA verilerinin fotogrametrik yöntemler ile işlenmesiyle ağaçlara ait katı hacimler çıkarılmıştır. Arazi verilerinden ise

ağaçların katı hacimleri, gerçek hacimleri, toprak üstü biyokütle ve karbon tutabilme kapasitelerinin tahmini elde edilmiştir. Arazi verilerinden elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon kapasite tahminleri için “Karbiyosis” yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda ağaçların toprak üstü biyokütle ve karbon kapasitelerinin tahmin edilebilmesi için regresyon denklemleri üretilmiştir. Üretilen regresyon denklemleri ise iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada İHA verilerinden elde edilen ağaçların katı hacimlerinden, arazi verilerinden elde edilen gerçek hacimlere üretilmiştir. Buradaki arazi verilerinden elde edilen gerçek hacimler, ağaçların toprak üstü canlı biyokütlesi olarak alınmıştır. İkinci aşamada ise yine İHA verilerinden elde edilen ağaçların katı hacimleri, Karbiyosis yazılımından elde edilen biyokütle değerlerine geçiş için üretilmiştir. Çalışmadan elde edilen toprak üstü biyokütle değerleri ağaçların canlı biyokütlelerini ifade etmektedir. Bu çalışmanın, diğer ağaç türleri içinde; hacimlerinin, toprak üstü biyokütlelerinin ve karbon tutabilme kapasitelerinin İHA verileri ile belirlenebilmesi için kılavuz olacağı öngörülmektedir.



2. KAYNAK TARAMASI

Yapılan sanayi devrimi ve sonrasında atmosferde CO₂ ve diğer sera gazlarının (nitrojen oksit, metan ve flora klora karbonlarının vb.) birikmesi nedeniyle ortalama yüzey sıcaklıklarında belirli bir artış oluşmaktadır. Bu, geçen yüzyılda küresel sıcaklıkta 0,8 °C artış olduğunu göstermektedir. Bu gazlar genellikle sanayi, fosil yakıt tüketimi, enerji üretimi, ulaşım, tarımsal faaliyetler ve çeşitli atıklardan kaynaklanmaktadır. Ancak bu konuda en önemli kaynağı, sanayi ve enerji üretimi için kullanılan fosil yakıtlar oluşturmaktadır (Öztürk 2002).

Güneşten gönderilen tayf çizgisinde görünür dalga boyuna denk gelen ışınların %30'unu atmosferimiz geri yansıtmaktadır. Işınların bir miktarı dünyamızdaki yüzey tarafından, bir miktarı da atmosfer tarafından emilmektedir. Bu soğurulan enerjinin bir miktarı görünür dalga boyundaki ışıkların dışında kalan (görünmez) ışınlar olarak atmosfere geri döner. Bu dalga boylarındaki ışınların ise bir miktarı atmosferin üst katmanlarından geçerken bir miktarı da atmosferdeki katmanlar tarafından emilir. Gazların bazıları güneşten gelen görünür bölgedeki dalga boylarına karşı daha fazla geçirgenken, görünmez bölge dalga boylarına karşı daha az geçirgen olabilirler. Bu yüzden dünya yüzeyinde, normalin dışında ısı artışına sebep olurlar. Dünyamızda gerçekleşen bu ısı dengesinin süreci ise sera etkisi olarak adlandırılmaktadır (Karadağ 2016).

Küresel iklim değişimi ve ısınma sorunu ise sera etkisi ile gerçekleşmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde, zaman diliminde gözlemlenebilir iklim değişikliğine ek olarak, iklim değişikliği, iklim değişikliğinde doğrudan veya dolaylı olarak bozulmaya neden olan insan etkilerinin bir sonucu olarak iklimde meydana gelen değişiklikler olarak isimlendirilmiştir. (Çakmak ve Gökalp, 2011).

Birleşmiş Milletler Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli 2100 yılına kadar küresel sıcaklıkların ortalama 1 ila 3, 5 °C artacağını tahmin edilmektedir. Sonuç olarak, en iyi koşullar altında, sıcaklık her on yılda yaklaşık 0,1 °C artacaktır. Bu değişiklikler nedeniyle; Yağış ve sıcaklık modellerindeki iklimler, yükselen deniz seviyeleri ve felaket seviyelerine ulaşmasının çeşitli sonuçları olacaktır. Fırtınalar, seller, kuraklıklar ve bunun sonucunda çölleşme, biyolojik şekildeki afetler, sıklıkla ortaya çıkacak ve daha geniş alanlara yayılacaktır. Bunlar ise sorunlardan sadece birkaçıdır (Karadağ 2016).

2.1. İklim Değişikliklerinin Türkiye Üzerindeki Olası Etkileri

İklim değişikliklerinden, karmaşık iklim özellikleri ile en çok etkilenen ülkelerden biri de Türkiye'dir. Üç tarafında deniz bulunması, parçalı topoğrafyaya sahip olması ve orografik yapısından ötürü her bölgesi iklim değişikliğinden farklı koşullarda etkilenmektedir.

Mesela Güneydoğu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde çölleşmeden kaynaklı kurak-yarı kurak, yeteri derecede suyu bulunmayan nem düzeyi düşük alanlarda sıcaklık artışı oluşacaktır (Öztürk 2002). Türkiye'de olabilecek ilkim değişiklikleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kuşkusuz, iklim değişikliği, ülkemizde kaçınılmaz olarak doğal ekolojik sistemlerin kompozisyonunun ve verimliliğinin bozulmasına ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açacaktır. Bununla birlikte, ekosistemlerin bazıları iklim değişikliğine hızlı tepki verirken, diğerleri çok yavaş tepki verir. İklim değişikliği ve kötüleşen iklim rejimlerine bireysel türler farklı şekillerde tepki vereceğinden dolayı, ekosistemin üretkenliği, yapısı, biçimi, coğrafi yapısı değişecektir. Bununla birlikte, bu beklenen çevresel değişikliklerin çoğu, iklim değişikliğinin ardından yıllarca veya yüzyıllarca ertelenebilir. Fauna ve floranın yaşam alanı farklılaştıkça, yeni gelenler nedeniyle biyolojik çeşitlilikte artışlara sebep olabilir. Aynı zamanda salgın hastalıklar, yangınlar gibi olumsuz koşullardaki artış ile biyoçeşitlilikte oluşacak azalmaya ve istenmeyen türlerde artışa yol açabilir. Oluşabilecek sorunları çözmek için ise özel olarak seçilmiş ve korunan park ve alanlar gerekmektedir. Değişecek iklim koşulları bağlantılı olduğu (akarsu rejimleri, toprak erozyonu, besin döngüsü vb.) tüm ekosistemleri etkisi altına alacaktır.
- Ormanlar, meralar ve çayırliklar ekolojinin olmazsa olmazlarından olduklarından dolayı şayet korunmazlarsa ülkemiz oluşabilecek sorunlarla karşı karşıya kalacaktır. Anadolu büyük medeniyetlerin arenası olduğu için ormanlar hızlı bir şekilde yok edildi. Ülkemizde ormanlar topraklarımızın sadece %26'sını kaplamaktadır (Öztürk 2002).
- Çalışmalar, küresel ısınma nedeniyle oluşacak iklim değişikliğinden, ülkemizin olumsuz etkileneceğini savunuyor. Küresel ısınma karşısında Türkiye en çok risk altındaki ülkelerden biridir. Oluşabilecek iklim değişikliklerine karşı gerekli ve yeni önlemler alınmazsa şayet kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynakları sorunun yanına bir de içme suyu sorunu eklenecektir.
- Türkiye’de meydana gelen yağışların azalması ve yağışlardaki sapma tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Yağışın ilkbahar aylarına kayması yaz dikimleri için bir avantaj olarak görülürken, önemli üretim riskleri de taşıdığı düşünülmektedir.
- Türkiye’de yarı kurak ve nemli bölgelerde (İç Anadolu, Güney Doğu Anadolu Ege ve Akdeniz) tarım, doğal su kaynakları ve ormancılık konularında olumlu olmayan sonuçların çıkabileceğine dair uyarılarda bulunmaktadır. Araştırmacıların yaptığı çalışmalar doğrultusunda, dünyanın jeolojik tarihinde olduğu gibi iklimlerde de bir kayma söz konusu olacaktır. Bununla birlikte ise Türkiye, Kuzey Afrika ve Orta Doğu da ki gibi iklim kuşaklarına sahip olacaktır (Öztürk 2002).
- En kurak mevsimleri ülkemiz son yıllarda yaşamaya başlamıştır. İlgili kurumlar, artan kuraklık eğiliminin artacağını tahmin ediyor. Kuraklık; Normalin altında yağış miktarı, normal olmayan toprak nemi, kuru ve sıcak hava gibi faktörlerin bir kombinasyonunun sonucunda oluşmaktadır.

2.2. Kentleşme ve Nüfus Artışı

Kentleşme, küresel çevresel değişimin önemli bir itici gücüdür (Imhoff vd. 2004; Foley vd. 2005). Önümüzdeki yıllarda, küresel nüfustaki artışlar ve gelişmekte olan ülkelerdeki sosyoekonomik ilerleme, kentsel genişlemeyi hızlandıracaktır. 2050 yılına kadar küresel nüfusun %70 kadarı şehirlerde yaşayacak ve kentsel arazi örtüsü, mevcut alanının 3 katına kadar genişleyecektir (Angel vd. 2005; Seto vd. 2011). Kentsel büyüme,

kentleşen bölgelerde ve çevresindeki arazi örtüsünü önemli ölçüde değiştirerek yaygın bir ekosistem değişikliği yaratır. Mevcut kentsel alan tahminleri, küresel arazi örtüsünün %0,2 ila 3'ü arasında değişmektedir (Schneider vd. 2010); ancak, kentsel ekolojik ayak izleri ve doğal kaynaklara olan yüksek talep, ekosistemlerde ve arazi örtüsünde çok daha geniş ölçekte değişikliğe yol açar (Seto vd. 2012; DeFries vd. 2010; Potere ve Schneider, 2007; Alberti vd. 2003; Sadık, 1999). Kentleşmeyle ilişkili arazi örtüsü değişiklikleri karbon depolamasını azaltır (Seto vd. 2012; Hutyra vd. 2011; Imhoff vd. 2004), biyojeokimyasal döngüleri, mikrometeorolojiyi ve bölgesel hava modellerini değiştirir (Raciti vd. 2014).

Daha fazla arazi alanı, artık küresel olarak, kentsel olmayan alanlardan çıkararak, kentsel arazi kullanımlarına dönüştüğü için sosya-ekolojik kalıpların yanı sıra toprağı fiziksel özelliklerini ve yer üstü biyokütlenin mekansal dağılımını etkilediğinden dolayı, ilgi kazanmıştır (Pouyat vd 2002; Vogt vd. 2015). Kentsel alanların genişlemesi, bu bölgelerdeki nüfus artışını iki katına çıkararak, Avrupa kara yüzeyinin %10'undan fazlasının kentsel alanlara tahsis edilmesine neden olur (Haase 2009; Scharenbroch 2012; Seto vd. 2012). Doğal, kendi kendini idame ettiren ekosistemlerden antropojenik ve yapay olarak sürdürülen ekosistemlere geçiş, doğal toprak fonksiyonları, biyolojik çeşitlilik ve habitat sürdürülebilirliği gibi çevresel faktörlerin pahasına olmaktadır (Churkina 2008; Haase 2009; Vasenev vd. 2017).

Bu değişikliklerin çoğu küresel olarak kentsel alanlara atfedildiği için sadece toprakları ve bitki örtüsünü değil, aynı zamanda ve en önemlisi karbon emisyonlarını, kentsel peyzajlardaki karbon havuzları ve akışlarını da etkilemektedir (Richter 2020; Pouyat vd. 2002; Strohbach ve Haase 2012). Bu alanların toprakları, insan kaynaklı olarak etkilenmemiş doğal topraklardan, büyük ölçüde farklı olabileceğinden dolayı özellikle ilgi çekicidir (Meuser 2010; Morel vd. 2015). Özellikle inşaat, konut, trafik veya endüstriyel üretim gibi kentsel faaliyetler, toprağın hava ve su kirleticilerinin azaltılmasına katkıda bulunan fiziksel özelliklerini değiştirir (Lehmann ve Stahr 2007; Vasenev ve Kuzyakov 2018). İnorganik ve siyah karbon miktarına katkıda bulunan organik karbon içeren antropojenik materyaller (örn. Kompost, gübre, çamurlar vb.) veya teknolojik materyaller (örn. Kül, moloz, yol tozu) biriktirilerek (Makowsky ve Meuser 2007; Meuser 2010) ayrıca doğal karbon döngüsü bozulur.

Bu, kentsel toprakların, nüfusun fayda sağladığı şehirlere, temel ekosistem hizmetleri sağlayan kentsel çevrenin önemli bir temeli olduğunu göstermektedir (Washbourne vd. 2012; Richter vd. 2020).

Kentsel gelişim süreci, bitki örtüsünün kaybına neden olur, ancak, ilk arazi dönüşümünden sonra, kentsel arazi örtüsü yavaş yavaş, geçirimsiz yüzeylerin, binaların, sokak ağaçlarının, kentsel ormanların ve yönetilen yeşil alanların heterojen yamalarından oluşur (Goetz vd. 2003; Luck ve Wu 2002; Zhou ve Troy; 2008). Kentsel bitki örtüsü, yerel karbon azaltma stratejilerine de yardımcı olabilir (Nowak ve Crane 2002; McPherson vd.2005). Potansiyel kentsel karbon yutakları muhtemelen mütevazı olsa da, kentsel bitki örtüsü kentsel ekosistemlerin ve karbon döngüsünün hayati bir bileşeni olarak işlev görürken, aynı zamanda kent sakinlerine estetik, ekonomik ve ekolojik değer sağlar (Nowak ve Crane 2002; Raciti vd. 2012).

Ağaç örtüsü, kentsel mozaikte arazi örtüsünün önemli bir bölümünü oluşturur ve

büyük ABD şehirlerindeki oranlar, arazi alanının ~ %10 ila %54'ü arasında değişir (Nowak ve Greenfield 2012). Bununla birlikte, 'kentsel', büyük miktarda karbon stoklarını depolayabilen benzersiz ve tutarsız bir şekilde tanımlanmış bir arazi örtüsüdür.

2.2.1. Kentleşme ve nüfus artışı biyoçeşitliliğe etkisi

Biyoçeşitliliğin korunması ve karbon depolama, iki önemli ve bağlantılı çevresel ekosistem hizmetidir. Biyosferdeki karbon depolaması, iklim değişikliğini hafifletmek için bir alternatif olarak görülmektedir, bu nedenle biyoçeşitlilik ve karbon stokları arasında yakın bir bağlantı olabilir. Ekosistemdeki en büyük karbon rezervuarlarından biri toprak olmasına rağmen, yer üstü bitki biyokütlesi karbon depolaması üzerinde hala önemli ve faydalı bir etki sağlayabilmektedir. Dünya çapında farklı orman türleri, odunsu ve odunsu olmayan bitki örtüsünde karbon depolamasına ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak, kentsel ormanlarda karbon depolaması ve bunun bitki floristik özellikleri ve vejetasyon türleri ilişkisi ile ilgili çalışmalar daha az yaygındır. Daha önce yapılan bir dizi çalışma, daha geniş bitki türleri ve üretim faaliyetlerine sahip olan şehir ormanlarının daha istikrarlı karbon stokları içerdiğini, kentsel hava sıcaklıklarını düşürdüğünü, hava kirliliğini ve ısı adası etkisini azalttığını göstermiştir. Diğer bazı araştırmalar, büyük ormansızlaşma ve kentsel orman biyokütlesinin hasat edilmesi nedeniyle bitki türlerinde bir azalma olduğunu ve dolayısıyla karbon depolamayı doğrudan etkilediğini ve küresel iklim değişikliğine teşvik ettiğini (Wilby ve Perry 2006) ortaya koymuştur.

Şu anda, kentsel alanlar insan göçü nedeniyle hızla genişlemektedir. 2025 yılına kadar dünya nüfusunun üçte ikisinden fazlasının kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir (Jaman vd. 2020). Bu nüfus baskısı, daha fazla bina inşasına ve ormanlık alanların bozulmasına neden olur. Kent ormanının doğru yönetimi yalnızca kentsel çevreyi iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda potansiyel olarak önemli miktarda karbon depolar. Bu nedenle, kentsel ormanların korunması ve yönetiminin önemi artmakta (Buyantuyev ve Wu 2009) ve diğer çalışmalarla da desteklenmektedir (Liu, Liu ve Loveland 2006 ; Robinson, Brown ve Currie 2009). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, özellikle kentsel alanlarda arazi kullanımındaki hızlı değişiklik nedeniyle, sonucun kentsel orman kaynaklarının kalıcı bir kaybı olduğu belirtilmiştir (Günlü vd. 2009 ; Joshi vd. 2009). Bu nedenle, kesintili ve kısa vadeli gözlemler, kent ormanlarının karbon depolaması üzerindeki etkilerinin doğru bir tahminini vermek için yeterli değildir; uzun vadeli ve sürekli çalışma gerektirir (Martin vd. 2008). Bununla birlikte, kentsel bitki örtüsü türlerine yanıt olarak karbon depolama dinamiklerine ilişkin önemli bir bilgi eksikliği vardır, ancak birkaç çalışma, karbon depolamayla ilişkili olarak kentsel arazi kullanımı değişikliğinin zamansal etkilerini ölçmektedir (Jaman 2020).

2.3.Uzaktan Algılama Teknolojileri ve İnsansız Hava Araçları

2.3.1. Uzaktan algılama

Uzaktan algılama ile elde edilen görüntüler CBS'de (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanılan mekânsal ve öznitelik verilerinin sağlanması aşamasında sıkça kullanılmaktadır. Uzaktan algılama teknikleri, geliştirilmekte olan teknoloji ile bağlantılı olarak kullandıkları sensörler, farklı çözünürlük ve işlevlerde sunduğu görüntüler açısından kullanıcıya çeşitli seçenekler sunmaktadır. Ancak tüm bu farklı sensörlerin

ortak noktası, uzaktan algıladıkları görüntü verilerini oluşturmak için elektromanyetik enerji kullanmalarıdır.

Uzaktan algılama “bir alet tarafından bir obje, alan veya algılanabilir birşeyi doğrudan temas olmaksızın toplanan verileri analiz etme ve böylece faydalı bilgiler elde etme bilim ve sanatı olarak tanımlar. "(Lillesand 2007). Bu tanım, uzaktan algılama tekniklerini kullandığımızda, hakkında bilgi toplayacak bir şeye ve onun hakkında bilgi toplamamızı sağlayacak bir sensöre ihtiyacımız olduğunu, bilgi toplamanın ise temassız, uzaktan yapılması gerektiğini belirtmektedir. Ancak bu haliyle yukarıdaki tanım oldukça geneldir ve haritacılık dışında günlük hayatımızda karşılaştığımız birçok uygulamayı içermektedir. Verilen bu tanıma göre örnek verilecek olursa bir kitap sayfasındaki bilgileri okuyup yorumlayan bir kişi uzaktan algılamaya örnek olarak gösterilebilir. Gösterilen örnekte, nesne kitap sayfasındaki metindir ve sensör insan gözüdür ve buradaki kişi kitap sayfasına temas etmeden gözleri yardımı ile sayfadaki metni okuyup beyni ile yorumlayıp faydalı bilgi haline getirmektedir. Uzaktan algılamaya başka bir örnek olarak ise trafik polislerinin araç hızlarını ölçmek için kullandıkları Radarları (Radio Detection and Ranging-Radyo Algılama ve Menzil) gösterilebilir. Burada ise bilgisi toplanan nesne araç bilgi toplayan ise Radar algılayıcıdır. Verilecek örnekler çeşitlendirilip çoğaltılabilir. Verilen bu örneklerde belli bir nesneye, alana veyahut algılanabilir bir şeye temas etmeksizin bir araç yardımı ile bilgisi toplanmaktadır. Verilen bu örneklerde nesne için bilgi uzaktan enerjiyi kullanarak toplanmaktadır. Sabins vd. (1978)’e göre uzaktan algılama, bir nesneyle fiziksel bağlantı olmadan bilgisinin toplanması şeklinde tanımlanır ve daha sonra bu bilgileri toplamak için kullanılan uçak ve uydular, nesnelerin üzerinde bulunduğu platformlar olarak kullanılır ayrıca belirtilen nesnenin bilgilerinin toplanması için ise elektromanyetik enerji kullanıldığını belirtmiştir. Yine Rees (1999), uzaktan algılamayı geniş anlamda fiziksel temas olmaksızın bir nesne hakkında bilgi toplanması olarak tanımlar. Uzaktan algılamayı, kartografik veya mekânsal anlamda veri üreten bir yöntem olarak kısıtlar ve bunun kullanılarak yapılmasını şart koşar. Özetleyecek olursak haritacılıkta veya mekânsal bilgilerin kullanıldığı disiplinlerde, uzaktan algılama, yeryüzünde doğal veya insan yapımı, algılanabilir şeylerin, havadan veya yersel cihazlar üzerindeki algılayıcı sistemler sayesinde algılanabilir şeyler hakkında bilgi toplanmasıdır.

2.3.2. Coğrafi bilgi sistemi

Hayatımızda oluşan her olay coğrafi konumla meydana gelmektedir. Bu, deneyimlerimizi haritalar aracılığıyla gösterebileceğimizi bildiriyor. Haritalar, seyahat ederken aradığımız yerleri bulmak, yeni bir mağaza, okul, hastane, şehir planlaması ve diğer yüzlerce kullanım gibi ekipmanların nereye kurulacağına karar vermek için kullanılır. Dünyayı tarif etmek ve planlamak için kullanılan bu haritaların sayısallaştırıldığını ve bir bilgisayar ortamında saklandığını düşünün. Bu haritalar üzerinde arama yapabilecek, belirli kriterlere göre nesneleri ve rotaları bulabilecek ve planlar yapabileceksiniz. Bütün bu bilgilerin depolanmasını ve erişilmesini sağlayan, çeşitli nihai ürünler üretilmesini sağlayan bilgisayar sistemlerine coğrafi bilgi sistemleri (CBS) denir. CBS, 1960’lı yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve coğrafyanın gelişiminin bir yansıması olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. O dönemlerde otomatik haritalama ve veri yönetimi aracı olarak ortaya çıkan CBS, hızlı ve önemli bir gelişme göstermiş ve son zamanlarda konumsal verileri işleme ve analiz etme teknolojisi haline gelmiştir. Günümüzde coğrafi bilişim ve teknoloji olarak da adlandırılmaktadır. Ticari

ilerlemeleriyle CBS giderek çoğalan bir uygulama sahası olmuştur (Weng 2010). Bu sebeple, CBS'nin tanımı birçok kez yapılmıştır. Yapılan tanımlardan bazıları ise aşağıdaki gibidir. Calkins ve Tomlinson (1977) tarafından yapılan ilk tanımlamada: CBS, karmaşık bir veri işleme görevi gerçekleştiren ve özellikle coğrafi verilerle kullanılmak üzere düzenlenmiş entegre bir yazılım paketidir. Bu görevler, veri girişi, depolama, erişim ve çıktının yanı sıra çok çeşitli tanımlayıcı ve analitik süreçleri içerir. Daha geniş anlamda, CBS, her türlü mekânsal veriyi oluşturmak, depolamak, analiz etmek, yönetmek ve görselleştirmek için bir bilgi sistemidir (Goodchild 1985). Coğrafi bilgi sistemleri en kapsamlı anlamıyla coğrafyanın sayısal bir modelini temsil etmektedir (Konecny 2014). Böylece doğal ve sosyo-ekonomik çevrenin planlanması, yönetimi ve izlenmesi CBS kullanılarak kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Tanımlardan da görebileceğiniz gibi, CBS mekânsal ve öznitelik özelliklerini içeren verileri işler. İkinci olarak, CBS'nin temel işlevleri, verilerin girişi, depolanması, işlenmesi ve çıkışıdır. CBS'de mekânsal verilerin kullanılması ise onu daha özel yapmaktadır. Mekânsal kavramı ise ele alınan bir nesnenin dünya üzerindeki esas konumunu belirtmektedir. Mekânsal kavramı aynı zamanda konumsal veya uzamsal olarak da adlandırılmaktadır. CBS, yeni haritalar oluşturmak için öznitelik veri tablolarını analiz ederek ve işleyerek yeni ürünler oluşturabilir. CBS, bilgisayar destekli tasarım ve veri tabanı yönetim sistemlerinin yeteneklerinden daha fazlasını içerir. Grafik harita verileri ile tablo verileri arasındaki ilişki bunu CBS'ye getiriyor. Böylece haritalarda yapılan değişiklikler veri tabanına yansıtılmaktadır.

2.3.3. Bilgi sistemleri ve fotogrametri

Günümüz bilgisayar teknolojisinin imkânları, yeryüzü ile ilgili her türlü bilginin bir araya getirilip kolaylıkla kullanılabileceği sistemler sunmaktadır. Coğrafi bilgi sistemi ve arazi bilgi sistemi olarak adlandırılan bu sistemler ile arazi ile ilgili çalışmalarda sistemin sağladığı sorgulama yetenekleri ile istenilen bilgilere kolaylıkla ulaşılabilmekte ve arazi ile ilgili projeler bir bilgisayar ekranında hayata geçirilmektedir. Bir CBS veya arazi bilgi sistemi oluşturmak için her şeyden önce güvenilir ve güncel haritalara, elbette dijital biçimde ihtiyacınız var. Mevcut haritaların sayısallaştırılması ile bu sayısal veri tabanları oluşturulabilmekte ve daha da önemlisi fotogrametrik olarak modern ve güvenilir sayısal haritalar oluşturulabilmektedir. Bu nedenle fotogrametri, CBS için en hızlı ve en modern veri toplama yöntemlerinden biridir. Analog fotogrametriden biraz farklı olan bu uygulamalar sayısal haritaları oluşturur. Bu sistemler ağırlıklı olarak büyük ve kentsel alanlarda kurulduğundan, ağırlıklı olarak fotogrametri uygulaması da bu alanlara ve CBS veya arazi bilgi sistemlerinin oluşturulmasına yöneliktir. Fotogrametri, veri ölçme ve üretme teknolojisi olarak değerlendirilirken, CBS, fotogrametri dâhil olmak üzere her türlü ölçüm teknolojisi kaynağından veri depolayan, analiz eden, talep eden ve sunan bir teknoloji veya bilim olarak adlandırılır. İki kavram arasındaki temel fark, fotogrametri veri üretirken, CBS veri kullanır.

2.3.4. İHA

İHA'nın kısa tanımı ve kısa tarihçesi; İnsansız hava aracı sistemi, pilot, uzaktan kumanda sistemi ve ikisi arasında komuta kontrol iletişim ortamı olmak üzere üç bileşenden oluşan entegre bir sistemdir. İHA'nın ana bileşenleri şunlardır: (1) ana gövdeyi oluşturan çerçeve, kanatlar, pervane, motor ve pil, (2) kontrol ünitesini oluşturan elektronik sensörler, iletişim elektroniği, GNSS ve (3) özel bir sensör, kamera vb. İHA'nın planlanması, uçuşu ve kontrolü için sensörler, iletişim tesisleri, yazılım ve

donanımlardan oluşur.

İHA fotogrametrisi, İHA'ların uzaktan algılanması, İHA verilerinin işlenmesi ve analizi ile İHA verilerinin doğruluğu konularında dünyada 2000'li yılların ilk yarısından itibaren, Türkiye'de ise 2010 yılından itibaren çok sayıda çalışma ve uygulamalı araştırma devam etmektedir. İHA'ların fotogrametrisi ile ilgili dünya literatüründe deneyim, test, araştırma ve uzmanlığa ayrılmış birçok yayın bulunmaktadır.

Görüntülemeyi kolaylaştıran (fotoğraf, video, çoklu / hiperspektral algılama) İHA, savunma, askeri, sınır güvenliği, acil durumlar, doğal afetler, izleme vb. alanlarda kullanılabilir. Uygulamaların yanı sıra emlak, haritacılık, planlama, tarım, madencilik, heyelan, orman vb. saha faaliyetlerinde doğrudan veya ikincil veri kaynağı olarak sıkça kullanılmaktadır (Torun 2017).

2.3.4.1. İHA fotogrametrisi ile ölçme

İHA fotogrametrisi (Motion-SfM'den Yapı) ile geleneksel matematiksel ve istatistiksel fotogrametri modelleri arasında farklılıklar vardır. İHA fotogrametrisi, yerel çözünürlük ve doğruluk yerine mevcut tüm verileri ve verimliliği kullanan yerel optimizasyon ve dolayısıyla 3B (üç boyutlu) nesne rekonstrüksiyonu gibi geleneksel fotogrametri modellerini kullanır. Oysa geleneksel fotogrametri, küresel tutarlılık, model doğruluğu, ölçüm doğruluğu, uyumluluk ve çoğunlukla bütünsel / küresel bir matematiksel model ile çözümler arar. Bu önemli fark, hava fotoğrafçılığı, 3B sayısal yüzey modelleme ve ortomozaik oluşturma için bir araç olarak İHA fotogrametrisinin uygulamalarını ve disiplinlerini sınırlandırmaktadır. İHA fotogrametrisi, geleneksel fotogrametrinin yerini iki alandaki gelişmelerle alacaktır. Birincisi İHA fotogrametrisinde geliştirilen modellerin ve uygulama noktalarının geleneksel fotogrametri ile entegre hale getirilmesidir. İkincisi, geleneksel fotogrametriye global çözümün temelini oluşturan sensör kamera merceğinin kalitesi ve mercek distorsiyonu bilgisi sayesinde bütünsel bir küresel matematiksel modelin geliştirilmesi için fiziksel koşulların sağladığı fırsatlar da geçerlidir (Torun 2017).

2.3.4.2. İHA fotogrametrisinin hedefi ve işlem adımları

Bilgisayarlı görme alanındaki gelişmeler nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulan İHA fotogrametri yaklaşımında (hareket-SfM'den yapı, yapısal görüntü modelinin oluşturulması) aşağıdaki hesaplama ve işleme süreçleri gerçekleştirilmektedir;

- Çok boyutlu öznitelik vektörleri ile eşleştirilerek yoğun nokta bulutu oluşturulması,
- böylece TIN (TIN: Üçgen Düzensiz Ağ) oluşturma,
- Bir cismin veya katı bir cismin TIN/TEN yüzeyinden ve 3B modelden rekonstrüksiyon ile yüzey modelinin oluşturulması,
- Oluşturulan yüzeyde görüntünün dekorasyonu (fotogrametri ve uzaktan algılamada ortomozaik).

2.4.Karbon ve Biyokütle Belirleme Yöntemleri

2.4.1. Karbon

Latince kömür anlamına gelen kimyasal bir element olan karbonun sembolü C ve atom numarası ise 6'dır. Periyodik tabloda 14. grupta yer almaktadır. Doğal olarak meydana gelen 3 izotopu bulunmaktadır. ^{12}C ve ^{13}C stabil iken, diğer izotopu yaklaşık olarak 5730 yıllık yarı ömür ile bozulan radyonüklid, ^{14}C 'dür. Karbon, antik dönemlerden bu tarafa bilinen elementlerden biridir (Lehmann 2007).

Dünya kabuğunda en çok bulunan 15. Element olan karbon evrende ise hidrojen, helyum ve oksijenden sonra gelen kütleye en çok bulunan elementtir. İnsan vücudunda ise oksijenden sonra en çok bulunan elementtir. Bolluğu ve eşsiz çeşitliliği ile karbon, Dünya'da sıkça karşı karşıya kalınan sıcaklıklarda polimer oluşturmadaki özelliği, karbonu bilindik tüm yaşam için ortak bir unsur olarak hizmet etmesini sağlamaktadır (Lehmann 2007).

İnorganik karbon olarak en çok bulunan kaynakları ise kireçtaşları, dolomitler ve karbondioksittir. Bunların yanı sıra organik kömür, turba, petrol ve metan klatrat birikintilerinde önemli düzeyde bulunmaktadır. Diğer elementlerden çok daha fazla bileşik oluşturan karbonun bugüne kadar 10 milyon bileşiği tanımlanmıştır. Bu sayı ise standart koşullar altında teorik olarak bilinen bileşik sayısında bir kısımdır. Bundan dolayı karbon elementlerin kralı olarak adlandırılır (Lehmann 2007).

2.4.1.1. Karbon stoku

Özel zamanlarda depolanarak inorganik ve organik karbon içeren saf karbon miktarına karbon stoku denir. Karbon içeriğindeki stok/rezervuar/yutak kelimesi, küresel iklim sisteminde bir bileşendir. İklim sistemi, karasal ve atmosferik karbon olmak üzere iki ana etkileşimden oluşur.

Atmosferde karbon CO_2 gazları şeklinde bulunmaktadır. Bileşende bulunan karbonun büyük bir kısmı, çözünmüş ve çökelmiş organik bileşiklerden oluşmaktadır. İklim sisteminin diğer bileşeni de karbon stokudur. CO_2 yapılan fotosentez ile atmosferden uzaklaştırılmaktadır. Bakteriler ve biyolojik çeşitliliğin farklı bileşenleri, karbon bileşiğini atmosfere salınan CO_2 gazına dönüştürür.

Karbondioksit, küresel ısınmaya katkıda bulunan en önemli sera gazlarından biridir. Havadaki CO_2 konsantrasyonu, doğal ve antropojenik emisyonlara ve canlı organizmalar, özellikle ormanlar tarafından CO_2 birikimine bağlıdır. Sera gazı emisyonlarını, özellikle de karbondioksit emisyonlarını sınırlamak için insan faaliyetleri dünya çapında gerçekleştirilmiştir. 190'dan fazla ülke, imzacıların atmosferdeki sera gazı emisyonlarını azaltmalarını zorunlu kılan Kyoto Protokolü'nü imzalamıştır. Kyoto Protokolü, antropojenik emisyonların kara ekosistemleri tarafından karbon tutulmasıyla dengelenmesine izin verir.

Karbon tutulması açısından en önemli karbon yutağı olan ormanlar, atmosferdeki karbon içeriğini kontrol etmek için uygun önlemlerdir. Orman ekosistemleri, tüm karasal yer üstü C'nun %80'inden fazlasını ve tüm toprak organik C'nunun %70'inden fazlasını

depolar (Batjes 1996; Jobbágy ve Jackson 2000; Jandl vd.2007). Bu nedenle, çeşitli orman türlerinde depolanan karbon miktarının kesin bir tahmini, sonraki eylemler için bir temel olmalıdır. Bu eylemler, orman alanlarını genişleterek ve mevcut ormanların biriktirme yeteneklerini iyileştirerek ormanlarda karbon tutmayı artırmayı içerebilir (Noormets vd. 2015).

Karbon, çoğunlukla odun olmak üzere orman ekosisteminin çeşitli yerlerinde depolanır. Birçok çalışmaya dayanarak, ağaç biyokütlesinin %50'si kadarı toplam karbon konsantrasyonu olarak varsayılmış ve geniş çapta kabul edilmiştir. Bununla birlikte, araştırmalar karbon içeriğinin ağaç türüne, ağaç bölmesine ve bazı çevresel sorunlara bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir (Węgiel ve Polowy 2020).

2.4.2. Biyokütle

Biyokütle, genellikle alan başına bulunan bitki organizmalarının fotosentez yoluyla gelişen ve gelişimini bitiren yeşil bitki kütlesi olarak değerlendirilmesini ifade eden bir tanımdır. Ormancılıkta biyokütle belirli bir büyüklükteki bir orman alanındaki toplam ağaç ve çalı sayısını ifade eder. Biyokütle terimi, belirli bir zamanda, yer altında ve yer üstünde yaşayan bitki ve hayvansal maddelerin mekânsal veya hacimsel miktarıdır (Saraçoğlu 2008; Sun vd. 1980; Alemdağ 1981; Agbelade ve Onyekwelu 2020). Kg/ton yaş veya kuru ağırlık cinsinden temsil edilmektedir. Genel olarak kuru ağırlık kullanılmaktadır (Durkaya ve Durkaya 2008). Kuru ağırlığın tercih edilme nedenleri ise ağaç cinsi, bulunduğu ortam, kesildiği zaman, iklim, ağacın farklı kesitlerindeki nem oranlarının farklılık göstermesidir (Saraçoğlu 1990). Ormanlık alanlarda biyokütle, ağaç ve çalılar, gövdeler, dallar, yapraklar ve ormanlarda atık olarak bırakılan maddeler, canlı hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluşur. Bitki organizmaları ise dünyadaki biyokütlenin %90'nını oluşturmaktadır.

1970'li yıllarda petrol krizinin başlamasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Küresel iklim değişikliği nedeniyle biyokütle araştırmalarında sürdürülebilir orman ekosistemi, biyoçeşitliliğin korunması, karbon stok değişiminin belirlenmesi ve küresel karbon döngüsünün anlaşılabilmesi için önemlidir. Ormanlık alanların artırılması, küresel ısınmanın önlenmesi açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Biyokütleyi hesaplamak için farklı teknikler bulunmaktadır. Bu teknikler sırasıyla: birim alan, orta ağaç ve regrasyon yöntemleridir. Son zamanlarda ise bu yöntemlerin dışında ormanlık alanların toplam biyokütlesinin bulunması üzerine uzaktan algılama yöntemleri kullanılmaktadır. Uzakta algılama yöntemlerinde yersel ölçümler kullanılmadan direkt olarak uydu görüntüleri veya hava fotoğraflarıyla biyokütle tahmin edilmektedir (Yılmaz 2015).

2.4.2.1. Birim alan yöntemi

Birim alan yönteminde, ormanlık alanın biyokütlesinin bulunabilmesi için alan belli bir büyüklükte örnek alanlara ayrılmaktadır. Seçilen örnek alanlarda bulunan tüm ağaçlar kesilerek kök, gövde, dal, yaprak ve kabuklarına ayrılır. Daha sonra ise bu kesitlerin yaş ve kuru ağırlıkları ile toplam ağırlıkları belirlenir. Bu işlemlerin sonuçları ise hektar cinsine çevrilir ve meşçereyle ilgili biyokütle değerleri ağaç kesitlerine göre

tek tek elde edilir. Kesitlerin yani bileşenlerin tek tek biyokütlesinin elde edilmesinden sonra bu değerler toplanarak alanın toplam biyokütlesi tahmin edilmektedir.

Birim alan yönteminin uygulanışında örnek alanların meşçere dağılımı, sayısı, büyüklükleri konusunda verilecek kararlar çokça önem taşımaktadır. Seçilen örnek alanlar ve meşçereyi en iyi şekilde temsil edecek nitelikte olmalıdır. Bu yöntemin kullanımının genç meşçelerde, tropik ormanlarda ve alçak vejetasyonlarda kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir (Yılmaz 2015).

2.4.2.2. Orta ağaç yöntemi

Orta ağaç yönteminde: Alan içerisinde seçilen örnek alanlarla bağlantılı orta ağaç kesilerek bu ağacın biyokütlesi belirlenir. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar alandaki otuzbir ağaç sayısı ile çarpılarak alanın biyokütlesi belirlenir. Daha sonra ise bu değerler hektara çevrilerek meşçere biyokütlesi belirlenmektedir. Bu yöntemde de birim alan yöntemindeki gibi ağaçların tek tek bileşenleri için veya tüm ağaçlar için toplam biyokütle belirlenmektedir.

Uygulanan bu yöntemin eksik olan yanlarından birisi, biyokütlenin toplam değer olarak elde edilip çap basamaklarıyla ilgili detaya sahip olmamasıdır. Diğer bir eksikliği ise çap basamaklarındaki ağacın kök, gövde, dal ve kabuk bileşenlerinin tek tek tahmin edilmek istenildiğinde, ağacın büyüklüğüne göre farklılık gösterektir. Bu yüzden tek bir değer elde edileceğinden dolayı oluşan farklılıklar saptanamayacaktır(Yılmaz 2015).

2.4.2.3. Regresyon Yöntemi

Regrasyon yönteminde ise birden fazla ağaçtan alınacak ölçüler ile regrasyon denklemleri oluşturulmakta ve bu regrasyon denklemleri ile biyokütle tahmininde bulunmaktadır. Bağımsız değişken olarak ise göğüs çapı ve boy gibi kolaylıkla ölçülebilen bölümleri alınmaktadır. Daha sonra ise karmaşık bir bileşen olan biyokütle bağımlı değişken olarak bağımsız değişkenlerin fonksiyonu şeklinde elde edilmektedir. Regrasyon denklemleri ağacın tek tek bileşenleri için elde dileyebileceği gibi tüm ağaç içinde oluşturulabilir.

Regrasyon denklemleri biyokütleyi tahmin etmek için tek girişli denklemler ve çok girişli denklemler ile düzenlenebilir. Tek girişli için sadece göğüs çapı (d), çok girişli de ise göğüs çapı, ağaç boyu(h) ve tepe çapı gibi farklı parametreler ile sağlanmaktadır.

Bu yöntem tek ve tüm ağaç biyokütlesinin bulunabilmesi ve diğer yöntemlere nazaran daha güvenli olmasından dolayı dünya genelinde en çok kullanılan yöntemdir (Yılmaz 2015).

Biyokütleyle ait tablolar bu yöntem ile hazırlanmaktadır. Bu yöntemin amacı birden fazla deneme ağacı olarak ele alınan örnekler sonucunda göğüs çapı gibi basit bir şekilde ölçülen parametrelerle tek ağaçla ilişkili bileşenlerin biyokütlesini kolay bir şekilde belirlemektir. Yaş ağırlık yerine kuru ağırlığa bağlı biyokütle tablolarının düzenlenme sebebi ise yaş ağırlığın farklı etkenler ile değişiklik göstermesidir (Saraçoğlu 1998). Kuru ağırlık esas alınıp düzenlenen biyokütle denklemleri ağacın gövde, dal, ibre ve kabuk bileşenlerin tamamının toplamından oluşan tüm ağaç için hazırlanmaktadır.

2.4.2.4. Uzaktan algılama yöntemleri

Uzaktan algılama yönteminin kullanılması daha geniş alanlarda veri elde etmek için en pratik ve uygun maliyetli alternatiftir. Uzaktan algılanan verilerin biyokütle tahmini için geleneksel saha envanteri yöntemlerine göre avantajları bir dizi yayınla gösterilmiştir (Sader vd. 1989; Roy ve Ravan 1996; Boyd vd. 1999; Nelson vd. 2000; Steininger 2000; Lu vd. 2002).

Uzaktan algılanan gözlemler biyokütleyi doğrudan ölçmese de radyometri bitki örtüsü yapısına (taç boyutu ve ağaç yoğunluğu), dokuya ve yer üstü biyokütle ile ilişkili olan gölgeye duyarlıdır (Yavaşlı 2013). Sonuç olarak uzaktan algılanan spektral yansıma ölçümleri, biyokütlenin yararlı öngörücüleri olabilir. Son zamanlarda, LİDAR uzaktan algılama, bitki örtüsünün dikey yapısını ve yüksekliğini karakterize etmek ve yer üstü biyokütleyi çıkarmak için başarıyla kullanılmıştır (Yavaşlı 2013). Biyokütle tahmini için uzaktan algılama teknolojileri üç grupta toplanabilir: Optik, RADAR ve LİDAR.

- **Optik sistemler**

Optik uzaktan algılama: Orman biyokütlesini tahmin etme konusunda sınırlı yeteneğe sahiptir çünkü optik görüntülerde kaydedilen spektral tepkiler, ağırlıklı olarak güneş ışığı ve bitki örtüsü arasındaki etkileşimle ilgilidir. Optik sensörler en üstteki kanopi katmanlarında yansıtılan veya emilen elektromanyetik enerjiyi kullandıklarından, tipik olarak bitki örtüsü yapısına daha az duyarlıdır (Steininger, 2000).

Optik verileri kullanan biyokütle tahmini genellikle biyokütle ile spektral tepkiler veya çoklu spektral görüntülerden türetilen bitki örtüsü indeksleri arasındaki korelasyonu belirleyerek gerçekleştirilir. Önceki çalışmalar, görünür bantların biyokütle ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir (Franklin 1986; Lu vd. 2002).

Yer üstü biyokütle tahmininde gölgelik geometrisi, toprak arka planı, güneş görüş açıları ve atmosfer koşullarının neden olduğu değişkenliği ortadan kaldırmak için çeşitli bitki örtüsü indeksleri ve orman biyofizik parametreleri arasındaki ilişkiler üzerine birçok çalışma geliştirilmiştir. Dikey Bitki Örtüsü İndeksi (Richardson ve Wiegand 1977), Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (Huete, 1988), Değiştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Qi vd. 1994) ve küresel çevresel izleme indeksi (Pinty ve Verstraete 1992) verilerdeki arka plan yansıma etkilerini kısmen azaltmaktadır. Ancak, sonuçlar çalışma alanının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Vejetasyon indekslerinin orman biyofiziksel parametrelerindeki değişikliklere duyarlılığı birçok araştırmacı tarafından değerlendirilmiştir (Xie 2020; Wulder 1998; Treitz ve Howarth 1999; Lu vd 2004; Lu 2006). Genel olarak bitki örtüsü indekslerinin çevresel koşulların neden olduğu yansıma üzerindeki etkileri kısmen azaltabileceği ve böylece özellikle karmaşık bitki örtüsü meşcere yapılarına sahip alanlarda yer üstü biyokütle ve bitki örtüsü indeksleri arasındaki korelasyonu iyileştirebileceği sonucuna varılabilir (Yavaşlı 2013).

Bitki örtüsü indekslerinin dışında, araştırmacılar çeşitli farklı uzaktan algılama yöntemlerini denemekte ve farklı düzeylerde başarı elde etmektedirler. Örneğin, Foody vd. (2001)'leri Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi ile birlikte sinir ağı yaklaşımını test etmiştir. Temel birçok katmanlı algı ağının, sahada ölçülenlerle güçlü bir şekilde ilişkili olan biyokütle tahminleri sağladığını bulmuşlardır ($r = 0,80$). Karlson vd. (2015)

tarafolarınca yürütülen bir çalışmada ise: Landsat 8'in Burkina Faso'daki bir ormanlık arazide aēaē gölgelik örtüsünü ve yer üstü biyokütlesini haritalamak için faydasını deēerlendirmektedir. Referans veri setini birleştirmek için saha verileri ve WorldView-2 görüntüleri kullanılmıştır. Spektral, doku ve fenoloji tahmin deēiřkenleri Landsat 8 görüntülerinden çıkarılmış ve Rastgele Orman modellerine girdi olarak kullanılmıştır. Fenoloji tahmin deēiřkenlerinin etkisini belirlemek için çok zamanlı ve tek tarih görüntülerine dayalı rastgele orman modelleri karşılaştırılmıştır. Bunların yanı sıra İHA'lar da optik sistemlerde veri kaynaēı olarak aktif bir şekilde rol almaktadır. Lin vd. (2018) tarafolarınca yürütülen çalışmada: Minjiang Nehri'nin kaynak bölgesindeki seyrek subalpin iēne yapraklı bir ormanın eēik fotoēraflarını çekmek için dijital kamera yüklü elektrikli sabit kanatlı bir İHA kullanmışlardır. Çakışan fotoēraflardan elde edilen nokta bulutu verilerine dayanarak, subalpin çalıları ve çayırları ortadan kaldırarak Minjiang köknar aēalarının bir Dijital Yüzey Modeli (DSM) ile birlikte yer dışı noktaları filtreleyerek bir Dijital Arazi Modeli (DTM) oluşturmuşlardır. Sayısal Yükseklik Modelini (DEM) pikselleştirilmiş DSM'den çıkararak hesaplanan Kanopi Yükseklik Modeli (CHM) verilerinin üzerinde ayrı aēaē ana hatlarının üst üste bindirilmesiyle bireysel aēaē yüksekliklerini ıkarımlışlardır. Tahmin deēiřkeni olarak aēaē yksekliēine (h) sahip allometrik denklem, ölçülen aēaē yüksekliklerinin aēaē yer üstü biyoktlerine uydurulmasıyla oluşturulmuştur, örnek aēaē parsellerinde 'h' ve gēs yksekliēinde çap üzerindeki allometrik denklem kullanılarak tahmin edilmiştir. Son olarak test alanındaki tüm aēaların yer üstü biyoktleri oluşturulan allometrik denkleme çıkarılan bireysel aēaē yükseklikleri girilerek belirlenmiştir. Sonuçlar, İHA ile elde edilen eēik optik fotoērafların, seyrek subalpin iēne yapraklı ormanların aēaē yer üstü biyokütle tahminine göre uygulandıēında fizibilitesini ve etkinliēini göstermektedir. Benzer alışma örnekleri ise; Ota vd. (2019) ve Otero vd. (2018) tarafolarınca yrtlmştur.

rnek verilen bu çalışmalardan biraz daha farklı bir metodoloji kullanan Navarro vd. (2019), Senegal'de Mangrov Plantasyonu yerüstü biyokütle izleme için İHA, Sentinel-1 ve Sentinel-2 Verilerinin Entegrasyonu ile bir çalışma yrtmştur. Çalışmanın ilk adımımda, genç bir mangrov plantasyonundaki örnek alanların geleneksel alan lmlerinin, İHA tabanlı fotogrametrik nokta bulutlarının yarı otomatik bir şekilde işlenmesi ile deēiřtirilmesi olasılıēı deēerlendirilmiřtir. İkinici bir adımda ise, Sentinel-1 Radarı ve Sentinel-2 optik görüntüleri, model destekli bir ereve altında tüm çalışma alanı için yer üstü biyokütleyi ve varyansını tahmin etmek için yardımcı bilgi olarak kullanılmıştır.

• Radar sistemleri

Radar (Radio Detection and Ranging-Radyo Algılama ve Menzil) sistemlerinin gece ve gündüz çalışabilme, bulutları geçebilme ve üst gölgelik ve odunsu biyokütle bileşeni de dāhil olmak üzere orman yapısının farklı katmanlarından geri saçılmayı kaydetme yeteneēi, Radar verilerinin orman meşcere parametrelerinin tahmininde yaygın olarak kullanılmasına neden olur. nceki birçok araştırma, Radar verilerinin yer üstü biyokütleyi tahmin etme potansiyelini göstermiştir (Imhoff vd. 2000; Saatchi vd. 2007; Simard vd. 2008; Koch, 2010; Sexton vd. 2009; Ghasemi vd. 2011).

Orman meşcere parametreleri ile ilgili olarak farklı Radar verilerinin kendine has özellikleri vardır. rneēin SAR verileri X, C, L ve P bantlarından alınır. X bandı, yapraklar ve kanopi örtü yüzeyi tarafından saçılır, bu nedenle aēaların yüzey tabakası

hakkında bilgi elde etmeye uygundur. C bandı yapraklardan geçer ve küçük dallar ve katman altı elemanları tarafından dağılır. L bandı yüzey katmanlarına nüfuz eder ve gövde ve ana dallar tarafından saçılır. P bandı, kanopi örtüsüne en fazla nüfuz eden bölgedir ve P bandı geri saçılmasının büyük kısmı gövde ve zemin yansımalarından kaynaklanır. Dolayısıyla, P ve L bandının geri saçılmaları, ağaçların biyofiziksel parametreleriyle en çok ilişkili olanlardır (Ghasemi vd. 2011). Özellikle, SAR L bandı verilerinin yer üstü biyokütle tahmini için değerli olduğu kanıtlanmıştır (Lu 2006; Robinson vd. 2013). Ghosh ve Behera (2018) taraflarınca yürütülen çalışmada yoğun tropikal ormanın yer üstü biyokütlesi, optik veri kümeleri ile birlikte C-bant SAR verileri kullanılarak tahmin edilmiş ve yöntemin etkinliği kontrol edilmiştir. Biyokütleyi tahmin etmek için çalışmada iki makine öğrenimi algoritması; Rastgele Orman ve Stokastik Gradyan Arttırma kullanılmıştır.

SAR verilerinin diğer önemli parametresi sinyallerin polarizasyonudur. Polarizasyon, elektromanyetik dalgalarındaki elektrik alanının yönüdür ve sinyaller ile reflektörler arasındaki etkileşimde ana faktördür (Yavaşlı 2013). Mikrodalga sensörlerinin çoğu sinyalleri yatay (H) veya dikey (V) polarizasyonlarda yayar. SAR verilerinin dört polarizasyonu olabilir: HH, HV, VH ve VV. Geçmiş çalışmalar, daha uzun dalga boylarının (L ve P bandı) ve HV polarizasyonunun yer üstü biyokütleye en fazla duyarlılığa sahip olduğunu göstermiştir (Yavaşlı 2013). Milne ve Dong (2002) ayrıca, orman biyokütle haritalaması için, daha uzun dalga boyu bantlarının, daha fazla yaprak penetrasyonuna, odunsu biyokütle ile daha iyi doğrusal korelasyona ve yer üstü biyokütleye geri saçılma tepkisinin daha yüksek doygunluk seviyelerine sahip oldukları için genellikle daha kısa dalga boyu bantlarından daha iyi olduğunu savunmuştur.

Doygunluk sorunu, Radar verilerinde de yaygındır. Doygunluk seviyeleri dalga boylarına (C, L, P gibi farklı bantlar), polarizasyona (HV ve VV gibi) ve bitki meşcere yapısının ve zemin koşullarının özelliklerine bağlıdır (Yavaşlı 2013). Örneğin, P bandı geri saçılımının, orman tipine bağlı olarak 100-300 t/ha doygunluk seviyesine kadar orman biyokütlesine duyarlı olduğu ve kuzey ormanlarının çoğunun ve büyük bir kısmının biyokütlesini haritalamak için uygun hale getirdiği gösterilmiştir. Ilıman ormanlarda (GTOS 2009), L-bant sentetik açıklıklı Radar ise yaklaşık 100-150 t/ha'da doymuştur. Kasischke vd. (1997), gözden geçirme çalışmalarında satürasyon problemini şöyle özetlemektedir; doygunluk noktası daha uzun dalga boyları için daha yüksektir ve HV polarizasyonu en hassas iken VV en azdır.

Topografya, engebeli ve / veya dağlık bölgelerde bitki örtüsünün yansımaları ve geri saçılma değerlerini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, SAR verilerinin topografik düzeltilmesi için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Örneğin Sun vd. (2002), çok kutuplu L bandı SAR verilerinin dağlık alanlardaki orman meşcerelerinin yer üstü biyokütlenin tahmini için yararlı olduğunu bulmuşlardır.

Radar sinyalleri, hem gölgelik hem de topraktaki ölçülmesi genellikle zor olan nem değişimlerinden oldukça etkilenir. Bu nedenle, aynı standart, toprak nemini veya gölgelik nemini etkileyen çevresel koşullara bağlı olarak önemli ölçüde farklı bir Radar geri saçılım değeri üretebilir.

- **Lidar sistemleri**

Lidar (Light Detection and Ranging-Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini), bir platformdaki cihazdan hedefe doğru lazer darbeleri yayan ve darbe emisyonu ile alım arasındaki yansıyan enerjiyi veya zaman farkını ölçen aktif bir uzaktan algılama teknolojisidir. Lazer darbesiyle aydınlatılan alan, lidar ‘ayak izi’ olarak bilinir ve ayak izinin boyutu, lazer sapması ve lidar aletinin yüksekliği ile belirlenir (Yavaşlı 2013). Lidar sistemleri iki şekilde gruplanır: Tam dalga formu ve ayrık dönüş sistemleri. Tam dalga formu Lidar sistemleri, kanopi yapısının dikey dağılımı ile ilgili bir arka plan enerji gürültüsü eşliğinin üzerinde geri dönen sinyalin tamamını kaydederken (Dubayah ve Drake 2000), ayrık geri dönüş sistemleri ilk ve son dönüşleri veya bazen de bir dizi ara sinyali kaydeder (Rosette vd. 2012).

Yer üstü biyokütle ve lidar arasındaki ilişki daha uzun ağaçların daha fazla odun içerdiği ve tipik olarak aynı türden daha kısa ağaçlardan daha fazla yaprak ve kök desteklediği ve diğer yandan Lidarın bitki örtüsünden yükseklik bilgisi elde etmeyi sağladığı fikrinden kaynaklanmaktadır. Bu teorik bilgi, lidar cihazlarının bitki örtüsü yüksekliklerini kullanarak biyokütleyi modellemesini sağlar. Ek olarak, tam dalga biçimli lidar sistemleri, yakalanan gölgelik elemanlarının dikey dağılımını da ölçer.

Ayrık dönüşlü lidar sistemleri ile biyokütle tahmininde, Lidar darbeleri kanopi üstü (ilk dönüş) ve zemin (son dönüş) arasındaki dikey katmanı temsil eder. Tipik olarak, Lidar verilerinden iki değişken çıkarılır:

- 1) Tepe yüzeyini temsil eden ilk dönüşten Dijital Yüzey Modeli (DSM)
- 2) Zemini temsil eden son dönüşten Dijital Arazi Modeli (DTM)

Ek olarak, ortalama kanopi yüksekliği, yüzdelikler veya ağırlıklı ortalamalar gibi çeşitli istatistik modelleri kullanılarak elde edilebilir (González-Jaramillo vd. 2019).

Öte yandan, ‘Buz, Bulut ve Yer Yüksekliği Uydusu’ üzerinde Geoscience Lazer Altimetre Sistemi (GLAS) gibi tam dalga biçimli Lidar sistemleri ile yer üstü biyokütle tahmini, sadece ilk ve son dönüş hakkında değil, aynı zamanda dikey yapı, bitki örtüsünün alınan yüzey alanına, oryantasyona ve yüzey yansıtıcılığına bağlı olarak, verilen yükseklikte geri dönen enerji seviyesi değişiklikleri hakkında da bilgi verir. Çeşitli araştırmalar (Drake vd. 2002; Harding vd. 2001; Lefsky vd. 2002) dalga formu şeklinin doğrudan biyokütle ve kanopi yüksekliği, taç boyutu, kanopinin dikey dağılımı gibi diğer biyofiziksel parametrelerle ve yaprak alan indeksi ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Tam dalga formu Lidarıyla yerüstü biyokütle tahminindeki en önemli adımlardan biri yere dönüşün doğru şekilde tespit edilmesidir. Teorik olarak, SLICER ve LVIS gibi tam dalga biçimli hava sistemleri ve GLAS gibi uydu verileri için, yer tepe noktası en son Gauss tepe noktasının merkezi olarak belirlenebilir ve en iyi düz alanlarda ve açık saçalarda çalışır. Ancak kapalı kanopiler veya engebeli arazide sırasıyla gölgelik tıkanıklığı veya dalga formunun genişlemesi ve sinyalin zayıflaması nedeniyle zeminin tespiti karmaşık olabilir. Arazinin etkilerini azaltmak için Duncanson (2010), engebeli veya eğimli arazide yer üstü biyokütleyi yardımcı topografik veriler kullanmadan tahmin etmek için bir yöntem geliştirmiştir ve diskriminant analizi kullanarak arazi kabartmasını

sınıflandırarak GLAS verilerinin bu alanlarda kullanılabileceğini göstermiştir. En son çalışmalar ayrıca GLAS verilerinin yüksek eğimli alanlarda yer üstü biyokütle tahmini için kullanılabileceğini, ancak arazinin maksimum orman gölgelik yüksekliğini tahmin etme üzerindeki etkisini azaltmak için GLAS dalga biçimi verilerini kullanarak, özellikle eğimi daha büyük olan arazilerde daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Xing vd. 2010).

Karbon depolama tahminlerini iyileştirmek amacıyla, ‘Yersel Lidar’ kullanılarak dikili ağaçlardan elde edilen üç boyutlu veriler ile ağaçları için modeller geliştirilmektedir. Bu modeller, yer üstü biyokütlesini, gövde çapı, oduna özgü yoğunluğu ve ağacın toplam yüksekliği ile ilişkilendirilebilmektedir (Velasco ve Chen 2019; Raciti vd. 2014; Popescu 2007). Yüksek nokta yoğunluklu İHA-Lidar verileri ise tek tek ağaçları tespit etmek ve ekilen ormanlardaki gölgelik örtüsünü tahmin etmek için kullanılmıştır (Wu vd. 2019; Wang vd. 2017).

2.4.3. Allometrik biyokütle denklemleri (ABD) yöntemi

Allometri: Bitkinin basit bir şekilde elde edilebilen ölçülerinden zor elde edilebilen(biyokütle) değerlerine ulaşmaya denilmektedir. Bunların matematiksel olarak ifade edilmesine ise ‘Allometrik Biyokütle Denklemleri’ denilmektedir (Kocaman 2019; Shi ve Liu 2017). Yapılan biyokütle hesaplamalarında kesilen ağacın her bir biriminin ağırlığının belirlenmesi daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır (Durkaya vd. 2013). Göğüs çapı ve ağaç boyu allometrik biyokütle denklemlerinden en çok kullanılan parametrelerdendir. Fakat ağaç boyuna kıyasla göğüs çapı daha kolay ölçüldüğünden ve hata oranının daha az olmasından dolayı daha fazla kullanım görmüştür (Uğurlu vd. 1976; Sun vd.1980; Pan vd. 1980; Martin vd. 1998; Saraçoğlu 1998; Ter-Mikaelian vd. 1997; Çömez 2006). Ağaçların fiziksel yapısı ve yoğunluklarındaki farklılıklardan dolayı ABD denklemleri her ağaç türü için ayrı ayrı üretilmektedir (Ketterings vd. 2001; Durkaya vd. 2016; Van Vinh vd. 2019; Vegiel vd. 2020; Sanquetta vd. 2013; Moussa ve Mahamane 2018; Mukuralinda vd. 2021). Türkiye de yapılan ABD denklemleri gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında kısıtlı miktarda olup birçok ağaç türü için geliştirilmemiştir.

2.4.4. Biyokütle genişletme faktörü (BEF) yöntemi

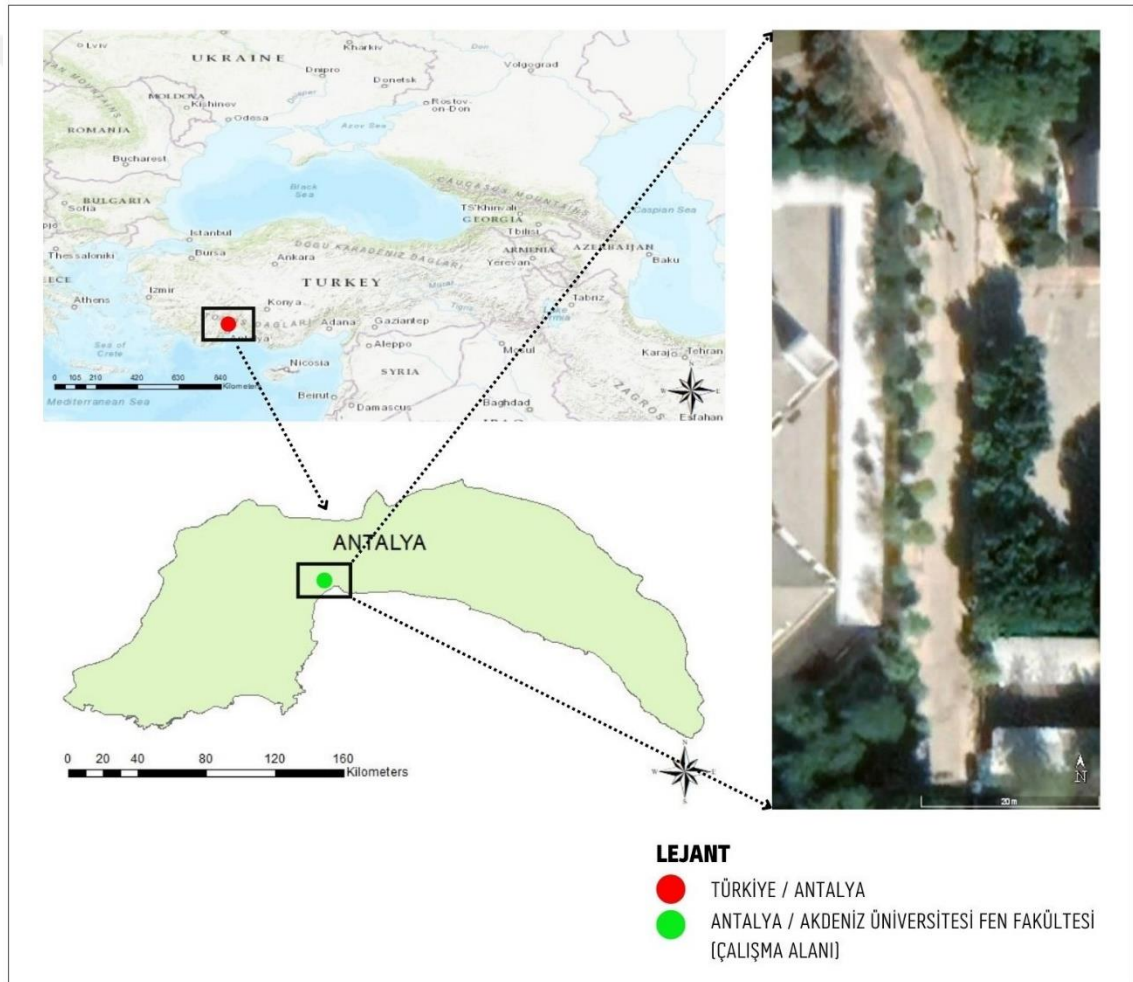
Ulusal orman envanterleri, ormanlarının gelişimini izlemek için düzenlenir. Envanter verileri ile yer üstü biyokütlenin belirlenmesi, orman büyüme hacminin biyokütle ile ilgili olduğu varsayılmaktadır (Shi ve Liu 2017). Yer üstü biyokütle değerini elde etmek için bu yöntemde ağaç serveti BEF (Biomass Expansion Factor (BEF)) katsayısı odun yoğunluk sonucuyla çarpılmayla elde edilir. Fırın kusuru ağırlığın yeşil hacme oranı odun yoğunluk değerini vermektedir. Bu işlemden sonra ise kök/sak oranından yer üstü biyokütleden yer altı biyokütleye geçiş yapılır. Elde edilen biyokütlenin karbon dönüştürme katsayısı ile çarpılmasıyla servette biriken tüm karbon miktarı hesaplanır. BEF’ler sabit değildir ve meşcere yaşı, yoğunluğu, saha sınıfı ve ağaç türlerine göre değişir (Kocaman 2019).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Akdeniz Üniversitesi Konyaaltı/Antalya merkez kampüsünde bulunan Fen Fakültesi yerleşkesinde, 36°53'55.10"K - 36°53'57.37"K enlemleri ve 30°39'22.27"D - 30°39'22.27"D boylamları arasında bulunmaktadır. Bölgede yer alan *Citrus aurantium* (turunç) ağaçları, fiziksel ve ekolojik özellikleri ile birlikte çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Herdem yeşil olan bu ağaçlara ait veriler Aralık 2021 tarihinde elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu

Akdeniz bölgesinin batısında bulunan Antalya, genel olarak Akdeniz iklimine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak kışları ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Yaz aylarında

ortalama sıcaklık 30 ila 35 °C arasında iken kış aylarında 9 ila 15 °C arasındadır. 300 güneşli günün ortalama sıcaklığı ise 18,7 °C derecedir. Yıllık ortalama nem oranı ise %64'tür (Sayan 2001; Yılmaz 2008).

Antalya ilinin yaygın bitki örtüsü makidir. Bu bitki örtüsü: Kısa boylu, yoğun ve sık yayımlı ve herdem yeşildir. Çalışmada araştırılan narenciye türü olan *Citrus aurantium*'da Akdeniz iklimine uyumlu olan bir türdür. *Citrus aurantium* -4 °C kadar dayanabilmektedir. Kış aylarında ise yaprağını dökmemektedir (Sayan 2001; Yılmaz 2008). Narenciye ağaçları başta Antalya olmak üzere birçok Akdeniz ilinde yetiştiriciliği yapılarak, halkın ana geçim kaynağı haline gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı ise çalışmada bir narenciye türü olan *Citrus aurantium* yani turunç ağaçları seçimiştir.

3.1.2. Veri seti

Çalışma, hava fotoğraflarının üretilmesi ve arazi çalışmalarını içeren iki veri seti ile sürdürülmüştür. Hava fotoğraflarının üretilmesi için İHA kullanılmış, arazi çalışmaları ise ilgili çalışma materyaline ait yersel ölçümler sonucu elde edilmiştir.

3.1.2.1.İHA veri seti

İHA ile alınan veriler için DJI Phantom 3 Advanced kullanılmıştır. Uçuş planlaması için ise Pix4D yazılımı tercih edilmiştir. Bu kapsamda otonom uçuş planlaması yapılmış, 30m yükseklik ve çift grid (double grid) olarak uçuş gerçekleştirilmiş, uçuş sonunda çalışma alanına ait 50 görüntü alınmıştır (Şekil 3.2). Uçuş, 90 derece kamera açısı, 1.40 cm/px mekânsal çözünürlük (GSD), %80 üst (horizontal) ve %70 yan (vertical) bindirme oranları ile gerçekleştirmiştir (Şekil 3.3). Uçuş süresi yaklaşık 6 dakika olarak tamamlanmıştır. Verilerin işlenmesi aşamasında ise Toshiba Satellite Intel(R) Core(TM) i7-3630QM CPU @ 2.40GHz 10 gb RAM bir bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Otonom uçuş planlaması

	Front overlap ⓘ 80%	20%  90%
	Side overlap ⓘ 70%	20%  90%
	Look at grid's center No	No <input checked="" type="button" value="Yes"/>
	Picture trigger mode ⓘ Fast mode	<input checked="" type="button" value="Safe mode"/> Fast mode
	Drone speed Normal	Slow  Fast

Şekil 3.3. Otonom uçuş ayarlarının belirlenmesi

Görüntülerin alınmasında, İHA'ya ait güvenli mod tercih edilmiş ve olası kamera hatalarının ve kayıklıkların önlenmesi amaçlanmıştır. Yine görüntülerin minimum hata ile üretilebilmesi için ortalama İHA hızı tercih edilmiştir.

3.1.2.2. Arazi veri seti

Yapılan arazi çalışmasında çekil şerit metre, mira metre, ağaç budama makası hassas terazi ve taşıma kabı kullanılmıştır. Çelik şerit metre kullanılarak ağaçların gövde dip çapları, gövde uç çapları, gövde yüksekleri, taç kısa ve uzun çapları, mira ile de ağaçların tüm yüksekliklerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca taç yüksekliği ise tüm yükseklik ile gövde yüksekliği arasındaki farktan elde edilmiştir. Ağaç budama makası kullanılarak her bir ağaçtan dal örnekleri toplanmıştır. Alınan örneklerin dal yüzdesi belirlenmiştir. Toplanan dal örnekleri yapraklı ve yapraksız olarak hassa terazi yardımıyla tartılmış ve kayıt altına alınmıştır. Aynı dal örnekleri yaprakları ile birlikte taşıma kabına daldırma yöntemi ile batırılarak dalların hacimleri ölçülmüştür (Şekil 3.4).



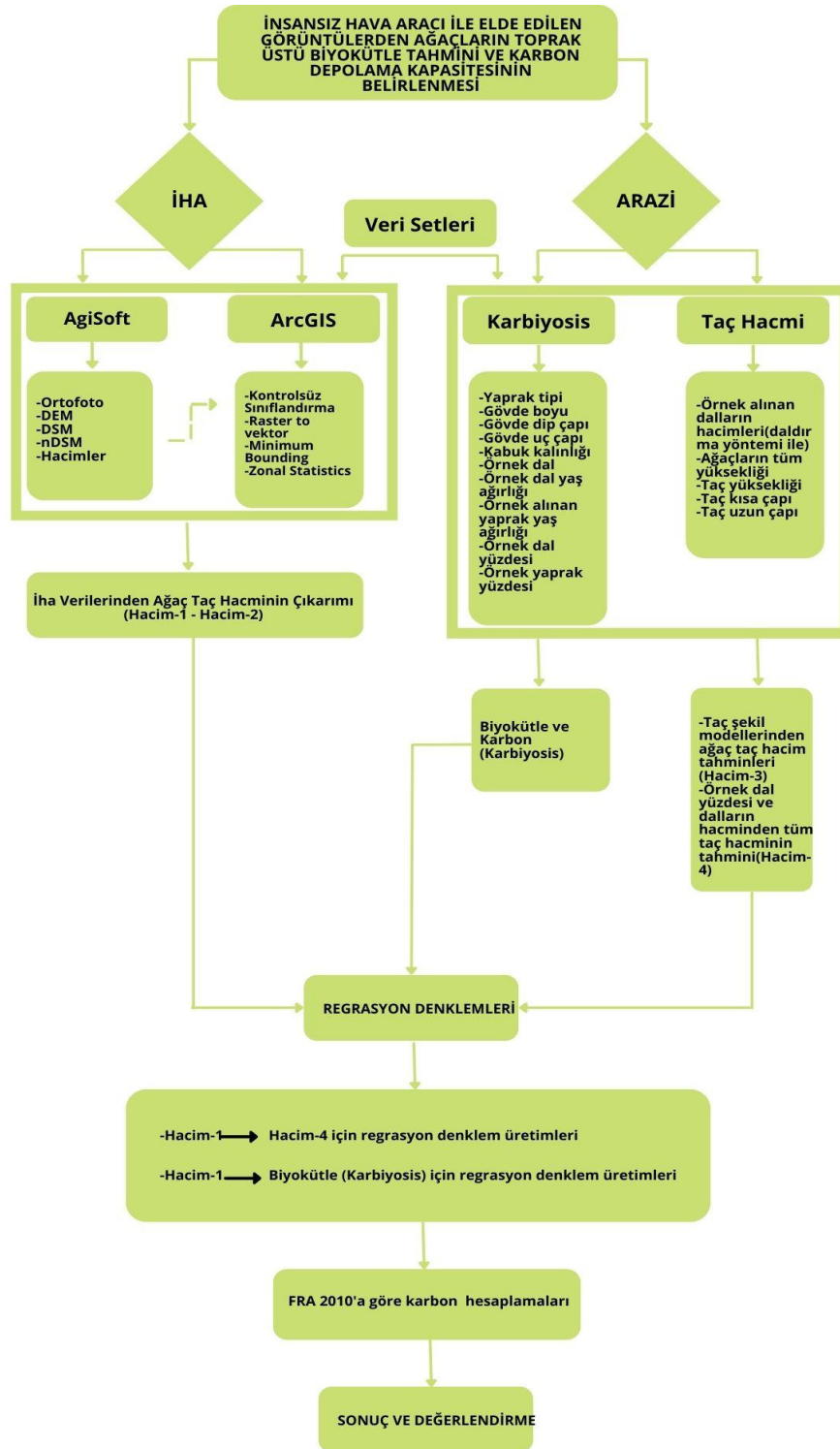
Şekil 3.4. Ölçüm yapılan dallara ait görüntüler

3.2. Metot

Çalışma yöntemi, veri setleri kullanılarak hacimlerin elde edilmesi, regresyon denklemlerinin üretilmesi ve buna bağlı olarak karbonun hesaplanması temel aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 3.5).

İHA verileri kullanılarak Agisoft yazılımından çıkarılan hacimler ‘Hacim-1’, ArcMap yazılımından taç şekil modellerine göre üretilen hacimler ‘Hacim-2’, arazi verilerinden taç şekil modellerine göre elde edilen hacimler ‘Hacim-3’ ve arazi verilerinden daldırma yöntemi ile çıkarılan hacimler ise ‘Hacim-4’ olmak üzere bir sonraki tanımlamalarda kolaylık olması açısından isimlendirilmiştir. Bir sonraki adımda ise yapılan hesaplamalardan çıkan sonuçlar ile regresyon denklemleri üretilmiştir. Üretilen denklemler ile FRA 2010 (The Global Forest Resources Assessment 2010- Küresel Orman Kaynakları Değerlendirmesi 2010) karbon hesaplama katsayıları kullanılarak ağaçların karbon depolama kapasiteleri tahmin edilmiştir. Son olarak ise çalışmada belirlenen metot doğrultusunda elde edilen biyokütle ve karbon sonuçları

Karbiyosis’den elde edilen toplam biyokütle ve karbon hesaplamaları ile karşılaştırılarak test edilmiştir.



Şekil 3.5. Yöntem akış şeması

3.2.1. İHA verilerinden ağaç taç hacminin çıkarımı

Bu aşamada İHA ile elde edilen görüntülerin işlenmesi ve bu verilerden ağaçların taç hacimlerinin hesaplanması yapılmıştır. Alınan görüntülerin işlenmesi aşamasında ‘AgiSoft Metashape Professional’ ve ‘ArcMap’ yazılımları kullanılmıştır. Bu kısım hazırlık ve taç hacimlerinin üretimi olmak üzere iki alt başlığa ayrılmaktadır: Hazırlık kısmında taç hacimlerinin üretiminin yapılabilmesi için uygulanan ön işlemlerden bahsedilmiştir. İkinci kısımda ise direkt olarak taç hacimlerinden ‘Hacim-1’ ve ‘Hacim-2’ üretimleri anlatılmıştır.

3.2.1.1. Hazırlık aşaması

Bu kısımda İHA verilerinden ağaç taç hacimlerinin yani ‘Hacim-1’ ve ‘Hacim-2’nin üretiminin yapılabilmesi için uygulanan ön işlem adımları ve elde edilen verilerin kullanım amaçları anlatılmıştır.

- **Ortofoto Harita, Sayısal Yüzey Modeli (DSM), Sayısal Arazi Modeli (DTM) üretimi**

İHA ile alınan 50 görüntü ‘AgiSoft’ programına aktarılmış ve nokta bulutu verileri üretilmiştir. Nokta bulutu haline getirilen verilerden ise ortofoto, DSM ve DTM üretilmiştir. Program üzerindeki işlem adımları ise sırasıyla: Workflow, Add photos (görüntülerin programa yüklenmesi), Aling Photos, Build Dense Cloud, Build Mesh, Build DEM ve Build Orthomosaic’den oluşmaktadır. Bu işlem adımları ile DEM ve ortofoto üretimi yapılmıştır. Aynı zamanda üretilen DEM, arazinin yüzey modelini de verdiği için dolayı DSM olarak da kullanılmıştır. DSM üretiminde, Tool sekmesinden Dense Cloud’da bulunan Classify Ground Points işlemleri uygulandıktan sonra Build DEM tekrar uygulanmış, bu sekmede bulunan Select Point Classes’den sadece Ground işaretlenmiş ve DSM üretilmiştir. Yani nokta bulutunun yere göre sınıflandırması yapıp daha sonra ise bu sınıflandırılmış görüntüden yer sınıfı ile DEM ve DSM oluşturulmuştur. DTM ve DSM verileri bir sonraki işlem adımında nDSM’in (Normalized Digital Surface Model - Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli) üretimi için kullanılmıştır.

- **nDSM, Ağaç Yükseklik, Taç Çapları Ve Taç Şekillerinin Üretimi**

Oluşturulan DTM ve DSM verileri ArcMap programına aktarılmıştır. Burada öncelikli olarak DSM’den DTM verileri çıkarılarak nDSM oluşturulmuştur. Daha sonra ise Agisoft’da üretilen ortofoto kontrolsüz sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Kontrolsüz sınıflandırmada ise ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analyses Technique - Tekrarlı veri Analizi Yöntemi) algoritması kullanılmış ve sınıf sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Sınıf sayısının yeterliliği ise ağaç taçlarının (her ağaç için ayrı) en iyi bütüncül belirginliği ile ayarlanmıştır. Yapılan sınıflandırma işlemi bir sonraki aşamada taçların poligona çevrilmesinde ve Agisoft’da taç hacimlerinin çıkarılmasına yardımcı olmak için kullanılmıştır. Poligona çevrilen veri üzerinden çalışma alanındaki 13 ağaç seçilmiş ve ayrı bir dosyaya kaydedilmiştir. Kaydedilen 13 ağaç için olan poligon verisine Minimum bounding işlemi uygulanmıştır. Bu işlemin uygulanma amacı, ağaçların taçlarının en kısa ve en uzun çaplarını belirlemektir. Son olarak ise Zonal Statistics işlemi uygulanarak ağaçların yükseklikleri çıkarılmıştır. Yükseklik çıkarımında ise veri kaynağı olarak nDSM kullanılmıştır.

3.2.1.2. Taç hacimlerinin çıkarımı

İHA görüntülerinin hazırlık aşamasında işlenmesi ile elde edilen veriler doğrultusunda iki farklı taç hacmi çıkarılmıştır. Hacim-1'in çıkarımında; seçilen 13 ağacın poligon verisi Agisoft programında nDSM verisi üzerinde açılmıştır. Açılan veri çoklu seçme işlemi ile seçilerek Measure Shape ile volume yani hacimleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu kısımda total volume, hacim olarak alınmıştır. Buradan çıkarılan hacimler m³ birimindedir. Elde edilen bu hacimler, 'Hacim-1' olarak isimlendirilmiştir.

'Hacim-2' çıkarımında ise; ArcMap programından ağaçlara ait taç kısa ve uzun çapı, yükseklik verileri elde edilmiştir. Bu verilerden ağaç taç kısa ve uzun çapı kullanılarak ortalama taç çapı çıkarılmıştır. Çıkarılan yükseklik verisi ile ortalama bir narenciye ağacının gövde yüksekliği (1,59 m) kullanılarak ortalama taç yüksekliği belirlenmiştir. Elde edilen veriler Coder (2000)'e göre, taç şekil modellerinden, ağaç taç hacim tahminleri için *Citrus aurantium* ağaçlarına en uygun olan 'Expanded Paraboloid' modeli ile hesaplanmıştır. Modele ait formül ise aşağıda verilmiştir.

$$(\text{Expanded Paraboloid}) = (\text{taç çapı})^2 \times (\text{taç yüksekliği}) \times (0,4909) \quad (3.1)$$

Bu formülde taç çapı olarak kısa ve uzun taç çaplarının ortalaması kullanılmıştır. Taç çapının karesi, yükseklik ve 0,4909 katsayısı çarpılarak elde edilmiştir.

3.2.2. Arazi verilerinden ağaçların hacimlerinin hesaplanması, biyokütle ve karbon depolama kapasitelerinin tahmini

Bu bölüm üç alt başlığa ayrılmaktadır. İlki Hacim-3'ün çıkarımı, ikincisi Hacim-4'ün çıkarımı ve karbon depolama kapasitesinin tahminleri üçüncüsü ise toplam biyokütle ve karbon kapasitesinin tahminidir.

3.2.2.1. Hacim-3 çıkarımı

Hacim-3 çıkarımı için arazi çalışmaları ile tespit edilen ağaç taç yüksekliği, taç kısa ve uzun çapları kullanılmıştır. 'Expanded Paraboloid' modeli kullanılmış, ağaçların taç hacimleri tahmin edilmiştir. Taç çapı olarak araziden alınan kısa ve uzun taç çaplarının ortalaması kullanılmıştır.

3.2.2.2. Hacim-4 çıkarımı ve karbon depolama kapasitesinin tahmini

Hacim-4 hesaplamasında araziden her ağaçtan alınan dal örnekleri daldırma yöntemi ile hacim tespitinde kullanılmıştır. Tespit edilen dal hacimleri tüme oranlanarak ağaçların tüm hacimleri tahmin edilmiştir. Bulunan bu hacimler, ağaçlar için canlı biyokütle olarak alınmıştır. Biyokütleden karbona geçiş için hacimler, metreküpten grama çevrilmiş ve elde edilen biyokütleden karbona geçiş yapılmıştır. Bunun için ise FRA 2010'a göre karbon hesaplaması için verilen katsayılar kullanılmıştır. İlgili katsayılar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. FRA 2010’a göre karbon hesaplaması

	Verimli		Bozuk	
	İğne Yapraklı	Geniş Yapraklı	İğne Yapraklı	Geniş Yapraklı
Toprak Üstü Biyokütle (TÜB)	DGH×0.496×1.22	DGH×0.638×1.24	DGH×0.496×1.22	DGH×0.638×1.24
Toprak Üstü Karbon (TÜK)	TÜB×0.51	TÜB×0.48	TÜB×0.51	TÜB×0.48
Toprak Altı Biyokütle (TAB)	TÜB×0.29	TÜB×0.24	TÜB×0.40	TÜB×0.46
Toprak Altı Karbon (TAK)	TAB×0.51	TAB×0.48	TAB×0.51	TÜB×0.48
Ölü Odundaki Karbon (ÖÖK)	TÜK×0.01	TÜK×0.01	TÜK×0.01	TÜK×0.01
Ölü Örtüdeki Karbon (ÖÖK)	Alan×22	Alan×13	Alan×6	Alan×2
Topraktaki Karbon	Alan×34	Alan×34	Alan×34	Alan×34
TOPLAM KARBON	TÜK+TAK+ÖÖK+ÖÖK+Topraktaki Karbon			

Çizelgede DGH, dikili gövde hacmidir. Üzerinde çalışma yaptığımız ağaç, verimli ve geniş yapraklı olduğu için tablodaki verimli ve geniş yapraklı katsayıları kullanılmıştır.

3.2.2.3.Biyokütle ve karbon kapasitelerinin tahmini

Bu bölümde, çalışma materyalinden alınan yaprak örneği, gövde yüksekliği, gövde alt çapı, gövde üst çapı, kabuk kalınlığı, örnek alınan dal yüzdesi, örnek alınan dal ağırlığı, örnek alınan yaprak yüzdesi ve örnek alınan yaprak ağırlığı verileri kullanılmıştır. Bu verilerin işlenebilmesi için ise ‘Karbiyosis’ yazılımı kullanılmıştır. Tuğluer (2019)’in yazılım hakkındaki açıklaması şöyledir:

“KARBİYOSİS (Ağaçların Biyokütle ve Karbon Depolama Hesaplama Sistemi) adlı yazılım ile 13 ağacın biyokütle ve karbon depolama kapasitesi hesaplanmıştır. Yazılım, envanter çalışması yaparak laboratuvar analizleri yapmadan verilerin girilmesi ile çalışmaktadır. KARBİYOSİS programı 10 adet standart ağaç türünü bazı formüller vasıtası ile hesaplamaktadır. Bu türler dışındaki ağaçlar için programda geniş yapraklı ve iğne yapraklı ortak katsayıları kullanılmıştır. Çalışmadaki türler dışında bir geniş yapraklı tür verisi girilirse programda diğer seçeneği tıklanarak hesaplanması istenilen ağacın latince adı ve yaprak tipi doğru bir biçimde girilmelidir. Böylelikle her türe ait biyokütle ve karbon depolama tahminlerine ulaşılabilir. KARBİYOSİS programının kullanılabilmesi ve hesaplamaların yapılabilmesi için bazı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Arazi çalışmaları ile elde edilen bu veriler programa entegre edilerek çalışma alanındaki ağaçların biyokütle ve karbon depolama miktarı hesaplanabilmektedir.”

Yazılıma uygulanan bu veriler doğrultusunda çıkan gövde biyokütlesi, gövde kabuğu biyokütlesi, dal biyokütlesi, yaprak biyokütlesi, toplam biyokütle, gövde karbon tutma miktarı, gövde kabuğu karbon tutma miktarı, dal karbon tutma miktarı, yaprak karbon tutma miktarı ve toplam karbon tutma miktarı elde edilmektedir (Tuğluer vd. 2019, 2021). Karbiyosis yazılımından çıkan sonuçlardan bu çalışma için sadece toplam biyokütle ve toplam karbon tutma miktarı kullanılmıştır.

3.2.3. Regresyon denklemlerinin üretilmesi

Bir önceki bölümlerde yapılan hesaplamalar ile birlikte ağaçların biyokütle ve karbon kapasitelerinin hesaplanması için denklem üretimleri yapılmıştır. Denklemlerin üretilme sebepleri, İHA verileri ile araziden elde edilen veriler doğrultusunda (Hacim-1, Hacim-2, Hacim-3) hesaplanan hacim değerleri, katı hacimleri vermektedir. Yani ağaçlar katı bir model olarak ele alındığında çıkan sonuçlardır ve bunlar gerçek hacimleri vermemektedir. Bu hacim değerleri kullanılarak gerçek hacim değerlerinin ve biyokütlelerin tahmin edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda gerçek hacim değerleri ağaçların toprak üstü biyokütlesini de temsil etmektedir. Bunun için İHA'dan elde edilen hacim verilerinden arazi çalışmaları ile elde edilen hacim ve Karbiyosis'den elde edilen biokütleye geçiş denklemleri üretilmiştir. Bu kısım ise iki aşamadan oluşmaktadır: İlk aşamada İHA'dan elde edilen Hacim-1'den ve arazi çalışmalarından elde edilen Hacim-4'ten denklem üretimleri, ikinci aşamada Hacim-1 verilerinden Karbiyosis kullanılarak elde edilen biyokütleye denklem üretimleri yapılmıştır.

Denklem üretimleri için İHA verilerinden elde edilen Hacim-1'ler ve arazi çalışmalarından daldırma yöntemi ile elde edilen Hacim-4'ler kullanılmıştır. Denklemlerin oluşturulması için ise Microsoft Excel üzerinden xy dağılım grafiklerinden faydalanılmıştır. Xy dağılım grafiklerinde üstel, doğrusal, polinom, üssel, eğim çizgilerine ait denklemler kullanılmıştır (Erkan 2002; Hayavadana 2012; Storm 2019.). Doğrusal eğim çizgilerinin hesaplanabilmesi için en küçük kareler yönteminde kullanılan denklemler sırasıyla;

$$y = ce^{bx} \quad (3.2)$$

$$y = mx + b \quad (3.3)$$

$$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_6x^6 \quad (3.4)$$

$$y = cx^b \quad (3.5)$$

şeklindedir.

Burada ilk aşama için x_i değerleri Hacim-1, y_i değerleri Hacim-4 olarak temsil edilmektedir. Denklemlerdeki b, c, m, değerleri ise sabit katsayılarıdır, e ise doğal logaritmadır. Bu katsayılar her bir denklem için farklı değerler almıştır. İkinci aşama için ise bu denklemlerde x_i değerleri yerine Hacim-1, y_i değerleri yerine de biyokütleleri alınmıştır.

3.2.4. FRA 2010'a göre karbon hesaplamaları

Regresyon denklemlerinden üretilen biyokütle değerleri, katsayı denklemlerinde (bkz. Çizelge 3.1) yerine konularak karbon tutabilme kapasiteleri belirlenmiştir. Buradan çıkan sonuçlar toprak üstü canlı biyokütleden elde edilen karbon tutabilme kapasitelerini göstermektedir. Bunlar dışında elde edilen biyokütle sonuçları, yine FRA-2010 kılavuzundaki katsayılar yardımı ile toprak altı biyokütle, toprak altı karbon tutabilme kapasiteleri ve ölü odundaki karbon kapasitesini vermektedir. Bu üç sonucun toplamı ile de toplam karbon tutabilme kapasiteleri belirlenmiştir.

Çalışmanın yöntem kısmını özetlemek gerekirse; öncelikle İHA ve arazi verilerinden dört farklı hacim değerleri elde edilmiştir. Bu hacim değerleri sırasıyla Hacim-1, Hacim-2, Hacim-3 ve Hacim-4'den oluşmaktadır. Hacim-1 değerleri İHA verilerinden Agisoft yazılımı üzerinden çıkarılmıştır. İHA verilerinden, ArcMap yazılımı ile ağaç taç çapları ve taç yükseklikleri elde edilmiş ve taç şekil modelinden taç hacimleri yani Hacim-2 değerleri tahmin edilmiştir. Hacim-3 değerleri ise araziden elde edilen taç çapları ve taç yüksekliklerinden, taç şekil modeli ile taç hacim tahminleri yapılmıştır. Son olarak Hacim-4 değerlerinin tahmini aşamasında ise arazi çalışmalarından alınan dal örneklerinin daldırma yöntemi ile örnek dalların hacimleri belirlenmiş ve tüm ağaç için oranlanarak ağaçların tüm hacimleri tahmin edilmiştir. Bu dört hacim içerisinde Hacim-1, Hacim-2 ve Hacim-3 değerleri ağaçların katı hacimlerini vermektedir. Hacim-4 değerleri ise ağaçlara ait gerçek hacim tahminleridir.

İkinci aşama ise arazi verilerinden biyokütle ve karbon kapasitesi tahminlerinden oluşmaktadır. Bu aşamada biyokütle ve karbon tahminleri için ise Karbiyosis yazılımı kullanılmıştır.

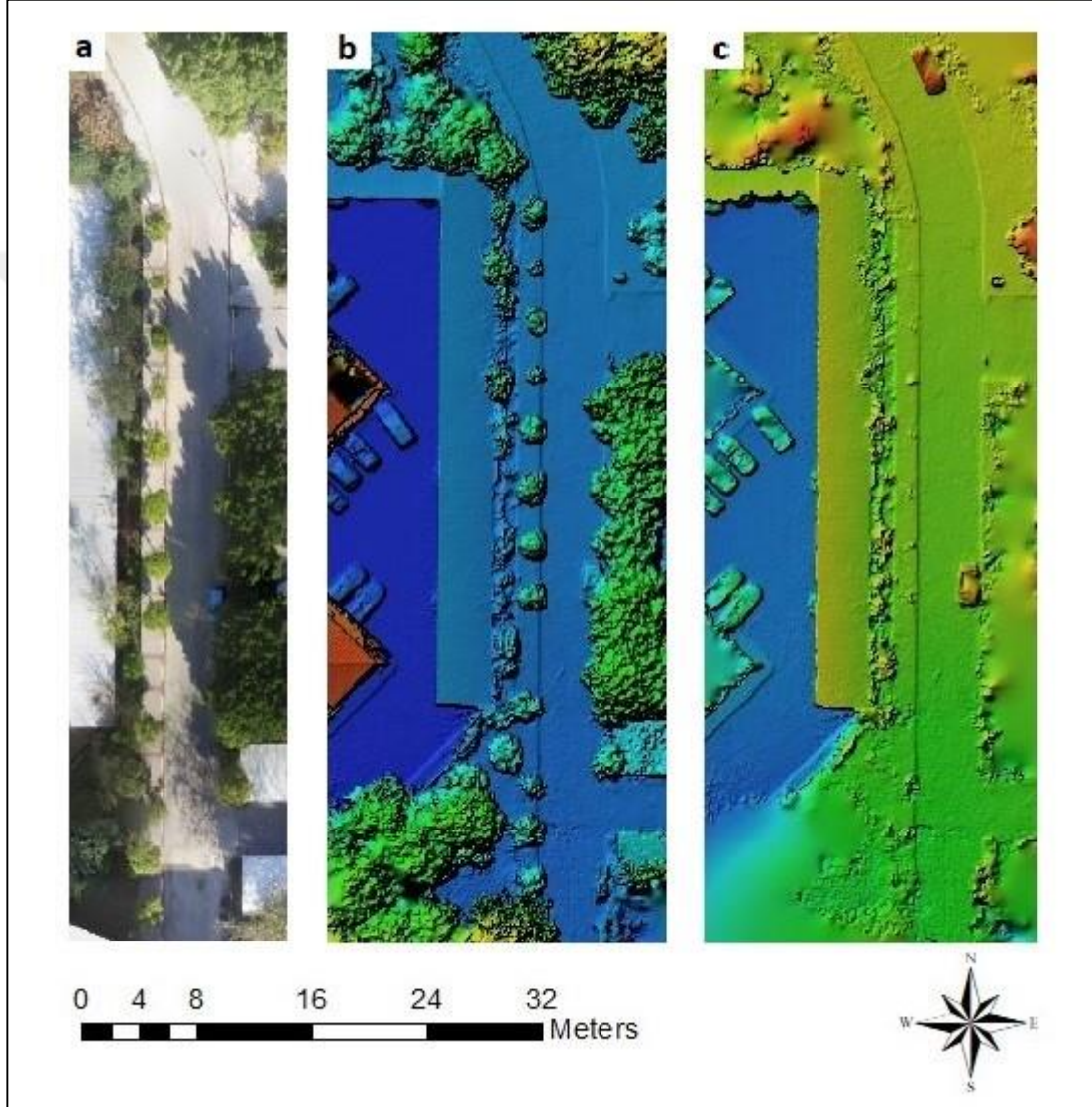
Üçüncü aşamada da İHA verilerinde elde edilen, Hacim-1 değerlerinden biyokütle ve karbon kapasitesi tahminleri için regresyon denklemleri üretilmiştir. Denklem üretimleri Hacim-1'den Hacim-4'e ve Hacim-1'den Karbiyosis'den elde edilen biyokütleye olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır. Bu denklemlerden elde edilen değerler canlı biyokütle olarak alınmıştır.

Son aşamada ise üçüncü aşamada elde edilen canlı biyokütle değerleri FRA 2010'a göre karbon depolama kapasitesi tablosundan verimli ve geniş yaprak katsayıları kullanılarak toprak üstü biyokütle ve karbon kapasiteleri tahmin edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

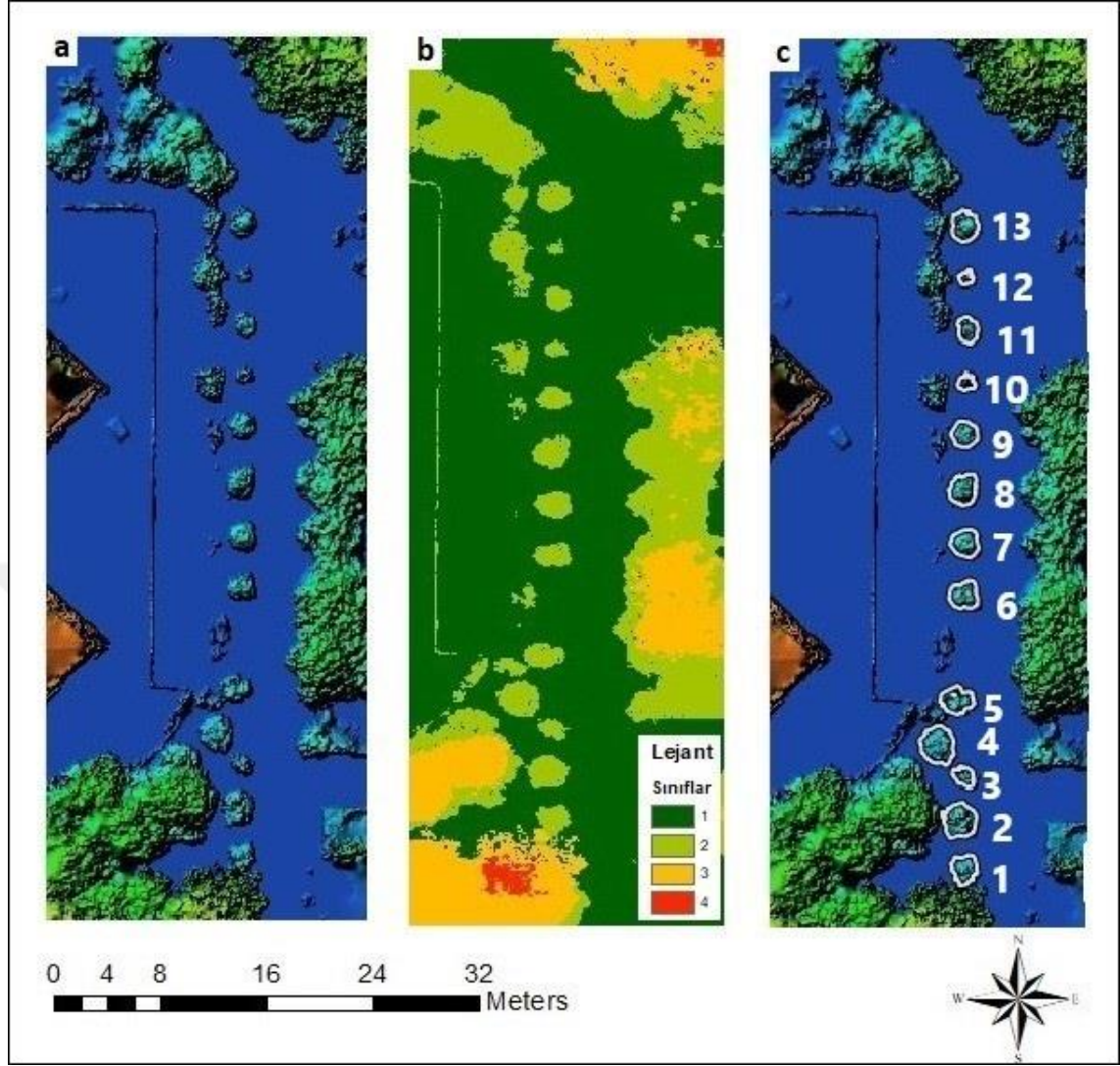
4.1. İHA Verilerinden Hacim-1 ve Hacim-2 Değerlerinin Elde Edilmesi

Otonom olarak gerçekleştirilen uçuş sonrası İHA ile alınan görüntüler kullanılarak ortofoto harita, DSM ve DTM verileri üretilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. İHA görüntülerinden üretilen veriler **a)** Ortofoto; **b)** DSM; **c)** DTM

Bir sonraki aşamada ise DSM ve DTM verilerinin farkları alınarak nDSM oluşturulmuştur. Yine bir önceki adımda üretilen ortofoto kullanılarak sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Uygulanılan sınıflandırma işlemi kontrolsüz sınıflandırma tekniği olan ‘ISODATA’ algoritması ile yapılmıştır ve görüntü 4 sınıfa ayrılmıştır. Bu veri kullanılarak da taş şekilleri poligon olarak çıkarılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. İHA görüntülerinden üretilen veriler **a)** nDSM; **b)** Isodata algoritması ile sınıflandırılmış görüntü; **c)** nDSM üzerinde açılmış ağaçların taçlarına ait poligonlar

Şekil 4.2’de sırası ile nDSM, sınıflandırılma işleminin uygulanmış hali ve nDSM üzerinde verilmiş ağaçların taçlarına ait poligonlar görülmektedir. Şekil 4.2b’de verilen sınıflandırılmış görüntüde ‘2. Sınıf’ çalışma alanındaki ağaçları temsil etmektedir. 1’inci, 3’üncü ve 4’üncü sınıflar ise ağaçların dışında kalan kısımları temsil etmektedir.

4.1.1. Hacim-1 değerleri

Üretilen nDSM ve taç poligonları hacimlerinin hesaplanabilmesi için Agisoft yazılımına aktarılmış ve buradan ilgili ağaçlara ait hacimler otomatik olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. İHA görüntülerinden elde edilen DSM ve nDSM verileri ile oluşturulan her bir ağaç için hacim değerleri (nDSM=Hacim-1)

Ağaç no	DSM VOLUME TOTAL (m ³)	nDSM VOLUME TOTAL (m ³)
1	6.325	6.55
2	13.269	12.843
3	3.634	3.316
4	14.452	14.888
5	9.925	10.237
6	9.824	9.912
7	12.346	11.962
8	11.535	11.501
9	9.047	9.004
10	3.041	2.938
11	6.907	6.624
12	1.601	1.634
13	9.643	9.549

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere her iki veriden üretilen hacim değerleri, birbirine oldukça yakındır. Çalışma alanında ve ağaç örtüsü altında eğim ve engebenin kayda değer derecede bulunmaması, bu iki veriden elde edilen değerlerin birbirine yakın olması sonucunu verdiği öngörülmektedir. Ancak her ne kadar göz ardı edilebilecek seviyede arazi engebesi minimum düzeyde olsa da çalışmanın doğruluğu açısından bu değerlerin de dikkate alınması gerektiğinden bu çalışmada nDSM verileri tercih edilmiştir.

4.1.2. Hacim-2 değerleri

İHA verilerinden elde edilen nDSM ve taç şekil poligonlarından ArcMap yazılımı ile ağaçlara ait kısa-uzun taç çapları ve yüksekliklerine ulaşılmıştır. Elde edilen veriler ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Ağaçlara ait taç ve yükseklik verileri (h=0 m'den en üst seviyesine)

Ağaç no	Taç kısa çapı (m)	Taç uzun çapı (m)	Ortalama taç çapı (m)	Yükseklik (m)	Ortalama taç yüksekliği (m)
1	2.471	2.936	2.7035	3.301525	1.711525
2	3.161	3.581	3.371	4.360941	2.770941
3	1.75	2.446	2.098	3.08292	1.49292
4	3.219	3.864	3.5415	3.522926	1.932926
5	2.745	3.361	3.053	3.88533	2.29533
6	2.587	2.955	2.771	3.772968	2.182968
7	2.7	2.84	2.77	4.013044	2.423044
8	2.583	3.355	2.969	3.981842	2.391842
9	2.501	2.678	2.5895	3.675026	2.085026
10	1.65	1.74	1.695	3.394896	1.804896
11	1.897	2.646	2.2715	3.614773	2.024773
12	1.289	1.694	1.4915	2.787672	1.197672
13	2.56	3.116	2.838	3.743847	2.153847

Elde edilen bu veriler, formül 3.1'de kullanılarak ağaçların taç hacimleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Taç şekil modellerinden taç hacim tahminleri (Hacim-2)

Ağaç no	EXPANDED PARABOLOID (m ³)
1	6.140857606
2	15.45744877
3	3.225823014
4	11.90098074
5	10.50247784
6	8.228363198
7	9.126702008
8	10.35013263
9	6.863353022
10	2.545567512
11	5.12853087
12	1.307908746
13	8.515941394

Burada verilen "Expanded Paraboloid" model, kullanılan turunc ağaçlarının taç şekilleri ile en uyumlu olan modeldir ve ağaçların taç hacimlerini m³ cinsinden vermektedir.

4.2. Arazi Verilerinden Ağaçların Biyokütle, Karbon, Hacim-3 ve Hacim-4 Değerlerinin Elde Edilmesi

Ağaçlara ait yükseklik, gövde yüksekliği, taç yüksekliği, taç kısa-uzun çapları, gövde alt-üst çapları, kabuk kalınlığı, örnek alınan dal ve yaprakların ağırlıkları ve alınan dalların hacimleri arazi çalışmaları ile elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Arazi çalışmaları ile elde edilen her bir ağaca ait veriler

Ağaç no	Yükseklik (m)	Gövde yüksekliği (m)	Taç yüksekliği (m)	Taç kısa çapı (m)	Taç uzun çapı (m)	Gövde alt çapı h=0 (cm)	Gövde üst çapı h=max (cm)	Kabuk kalınlığı (cm)	Örnek alınan dal ağırlığı (gr)	Örnek alınan yaprak ağırlığı (gr)	Örnek alınan dalların hacimleri(m ³)
1	3.41	1.58	1.83	2.56	2.6	14.324	11.777	0.1	260	96.74	0.00024
2	4.39	1.6	2.79	2.7	3.25	17.507	16.234	0.076	235	110.82	0.000277
3	2.91	1.38	1.53	2.2	4.9	11.777	11.777	0.1	340	143.61	0.000435
4	3.73	1.52	2.21	3.1	3.48	20.69	14.642	0.1	565	258.46	0.000781
5	4.04	1.68	2.36	2.8	3.4	20.054	18.78	0.11	115	69.55	0.00009
6	3.8	1.44	2.36	2.8	2.81	16.552	14.642	0.1	260	113.6	0.000275
7	4.05	1.67	2.38	2.41	2.77	16.552	13.687	0.12	370	141.58	0.000427
8	3.95	1.65	2.3	2.72	3	17.189	16.87	0.15	325	162.72	0.00031
9	3.84	1.53	2.31	2.65	2.74	14.961	12.732	0.079	185	88.35	0.0002
10	3.78	1.81	1.97	1.78	2.45	12.414	9.8676	0.1	135	130.92	0.000225
11	3.46	1.64	1.82	2.23	2.43	8.7535	9.231	0.1	200	140.84	0.0003
12	2.86	1.44	1.42	1.77	1.86	12.096	7.0028	0.098	200	87.23	0.00025
13	3.91	1.73	2.18	2.44	3.14	16.711	10.504	0.13	120	141.8	0.000235

Çizelgede, alt-üst gövde çapları ağacın alt-üst gövde kalınlıkları ölçülüp çemberin çevresinden çapına gidilen (çevre/pi) matematiksel formül ile hesaplanmıştır.

4.2.1. Hacim-3 değerleri

Taç kısa ve uzun çap verileri kullanılarak (bkz. Çizelge 4.4) ortalama bir taç çapı elde edilmiştir. Taç çapı ve yüksekliği metre cinsinden alınmıştır. Elde edilen taç çapları ve taç yükseklikleri, taç şekil modellerinden, ağaç taç hacim tahminleri için verilen formül ile (bkz. 3.1) hesaplanmış ve ağaç taç hacimleri belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Taç şekil modellerinden taç hacim tahminleri (Hacim-3)

Ağaç no	EXPANDED PARABOLOID (m ³)
1	5.979756971
2	12.12191336
3	9.465447893
4	11.74294702
5	11.13341564
6	9.115295795
7	7.83735497
8	9.235340972
9	8.236117826
10	4.32593512
11	4.850385558
12	2.296331775
13	8.330248024

m^3 cinsinden hesaplanan Hacim-3 değerleri, Hacim-1 ve Hacim-2 ile benzerlik göstermektedir. Arazi gözlemleri ile karşılaştırıldığında her 3 hacim hesabının da yaklaşık olarak doğru yönlendirme yaptığı anlaşılmaktadır.

4.2.2. Hacim-4 değerleri ve karbon depolama kapasiteleri

Araziden alınan dal örneklerinin hacimleri, daldırma yöntemi ile elde edilmiştir. Bu kapsamda, su dolu kaplara mevcut dal örnekleri daldırılmış ve taşan su miktarı ölçülerek hacim m^3 cinsinden elde edilmiştir. Ardından belirlenen bu hacimlerin tüme oranlanması ile ağaçların hacimleri tahmin edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Daldırma yöntemi ile elde edilen ağaç hacim değerleri (Hacim-4)

Ağaç no	Örnek alınan dalların hacimleri(m^3)	Tüm hacim (m^3)
1	0.00024	0.03648
2	0.000277	0.05983
3	0.000435	0.01653
4	0.000781	0.10544
5	0.00009	0.01026
6	0.000275	0.02924
7	0.000427	0.05167
8	0.00031	0.08091
9	0.0002	0.0282
10	0.000225	0.009675
11	0.0003	0.0219
12	0.00025	0.0085
13	0.000235	0.01857

Çizelgede verilen tüm hacim değerleri kullanılarak ağaçların karbon tutma kapasiteleri belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Bu işlem için FRA 2010'a göre karbon hesaplamalarından faydalanılmıştır.

Çizelge 4.7. Hacim-4 verilerinden karbon tutum tahminleri

Ağaç no	BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ALTI BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ALTI KARBON (gr)	ÖLÜ ODUNDAKİ KARBON (gr)	TOPLAM KARBON (gr)
1	36480	17510.4	8755.2	4202.496	175.104	21888
2	59830	28718.4	14359.2	6892.416	287.184	35898
3	16530	7934.4	3967.2	1904.256	79.344	9918
4	105440	50611.2	25305.6	12146.688	506.112	63264
5	10260	4924.8	2462.4	1181.952	49.248	6156
6	29240	14035.2	7017.6	3368.448	140.352	17544
7	51670	24801.6	12400.8	5952.384	248.016	31002
8	80910	38836.8	19418.4	9320.832	388.368	48546
9	28200	13536	6768	3248.64	135.36	16920
10	9675	4644	2322	1114.56	46.44	5805
11	21900	10512	5256	2522.88	105.12	13140
12	8500	4080	2040	979.2	40.8	5100
13	18570	8913.6	4456.8	2139.264	89.136	11142

Burada, Çizelge 3.1’de verilen toprak üstü biyokütle hesaplaması yerine, arazi çalışmaları sonucundan elde edilen hacim değerlerinin (bkz. Çizelge 4.6), grama çevrilmiş hali kullanılmıştır. Üzerinde çalışma yaptığımız ağaç cinsi verimli ve geniş yapraklı olduğu için Çizelge 3.1’deki verimli ve geniş yapraklı katsayıları kullanılmıştır.

4.2.3. Karbiyosis

Karbiyosis yazılımı ile ağaçların biyokütle ve karbon kapasitelerinin belirlenebilmesi için arazi çalışmalarıyla toplanan veriler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Karbiyosis yazılımı için arazi çalışmaları ile toplanılan veriler

Ağaç no	TÜR	YAPRAK TİPİ (1: Geniş Yapraklı) (2: İğne Yapraklı)	GÖVDE YÜKSEKLİ Ğİ (cm)	GÖVDE ALT ÇAPI h=0 (cm)	GÖVDE ÜST ÇAPI h=max (cm)	KABUK KALINLIĞI l (cm)	ÖRNEK ALINAN DAL YÜZDESİ (%)	ÖRNEK ALINAN DAL AĞIRLIĞI (gr)	ÖRNEK ALINAN YAPRAK YÜZDESİ (%)	ÖRNEK ALINAN YAPRAK AĞIRLIĞI (gr)
1	Citrus Aurantium	1	158	14.32394	11.77747	0.1	0.6579	260	0.6579	96.74
2	Citrus Aurantium	1	160	17.50704	16.2338	0.076	0.463	235	0.463	110.82
3	Citrus Aurantium	1	138	11.77747	11.77747	0.1	2.6316	340	2.6316	143.61
4	Citrus Aurantium	1	152	20.69014	14.64225	0.1	0.7407	565	0.7407	258.46
5	Citrus Aurantium	1	168	20.05352	18.78028	0.11	0.8772	115	0.8772	69.55
6	Citrus Aurantium	1	144	16.55211	14.64225	0.1	0.9404	260	0.9404	113.6
7	Citrus Aurantium	1	167	16.55211	13.68733	0.12	0.8264	370	0.8264	141.58
8	Citrus Aurantium	1	165	17.18873	16.87042	0.15	0.3831	325	0.3831	162.72
9	Citrus Aurantium	1	153	14.96056	12.7324	0.079	0.7092	185	0.7092	88.35
10	Citrus Aurantium	1	181	12.41409	9.867606	0.1	2.3256	135	2.3256	130.92
11	Citrus Aurantium	1	164	8.753522	9.230987	0.1	1.3699	200	1.3699	140.84
12	Citrus Aurantium	1	144	12.09578	7.002817	0.098	2.9412	200	2.9412	87.23
13	Citrus Aurantium	1	173	16.71127	10.50423	0.13	1.2658	120	1.2658	141.8

Toplanan bu verilerin Karbiyosis yazılımında işlenmesi ile gövde, gövde kabuğu, dal, yaprak ve toplam biyokütelleri ile karbon tutabilme kapasiteleri elde edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Karbiyosis yazılımından elde edilen veriler

Ağaç no	GÖVDE BİYOKÜTL ESİ (gr)	GÖVDE KABUĞU BİYOKÜTL ESİ (gr)	DAL BİYOKÜTL ESİ (gr)	YAPRAK BİYOKÜTL ESİ (gr)	TOPLAM BİYOKÜTL LE	GÖVDE KARBON TUTMA MİKTARI (gr)	GÖVDE KABUĞU KARBON TUTMA MİKTARI (gr)	DAL KARBON TUTMA MİKTARI (gr)	YAPRAK KARBON TUTMA MİKTARI (gr)	TOPLAM KARBON TUTMA MİKTARI
1	12029.761	351.4533	20945.43	6191.566	39518.21	5566.17	159.5247	9660.033	2695.808	18081.54
2	20118.593	347.7804	26900.65	10078.4	57445.42	9308.873	157.8575	12406.58	4388.134	26261.44
3	8518.2259	277.9083	6847.545	2297.836	17941.52	3941.383	126.1426	3158.088	1000.478	8226.092
4	21370.977	454.1255	40427.97	14692.82	76945.9	9888.351	206.1275	18645.38	6397.256	35137.12
5	27640.277	605.3186	6948.244	3338.511	38532.35	12789.16	274.7541	3204.53	1453.588	17722.03
6	15466.865	380.9531	14653.34	5086.511	35587.67	7156.518	172.9146	6758.12	2214.667	16302.22
7	16872.223	513.6734	23729.43	7213.83	48329.16	7806.778	233.1563	10944.01	3140.902	22124.85
8	20747.601	711.3444	44962.15	17884.76	84305.85	9599.915	322.8792	20736.54	7787.024	38446.36
9	13120.78	285.188	13825.44	5245.563	32476.97	6070.985	129.4468	6376.292	2283.918	14860.64
10	10148.082	345.4472	3076.625	2370.42	15940.57	4695.517	156.7985	1418.94	1032.081	7303.336
11	5989.3209	254.7295	7737.791	4329.039	18310.88	2771.259	115.6217	3568.669	1884.863	8340.413
12	6306.9408	232.2382	3603.971	1248.808	11391.96	2918.221	105.4129	1662.152	543.7309	5229.517
13	14750.685	519.8669	5024.49	4716.995	25012.04	6825.142	235.9676	2317.295	2053.78	11432.18

Karbiyosis yazılımından çıkan sonuçların içerisinde bu çalışma için elde edilen değer olarak sadece toplam biyokütle ve toplam karbon tutma miktarı kullanılmıştır.

4.3. Regresyon Denklemleri

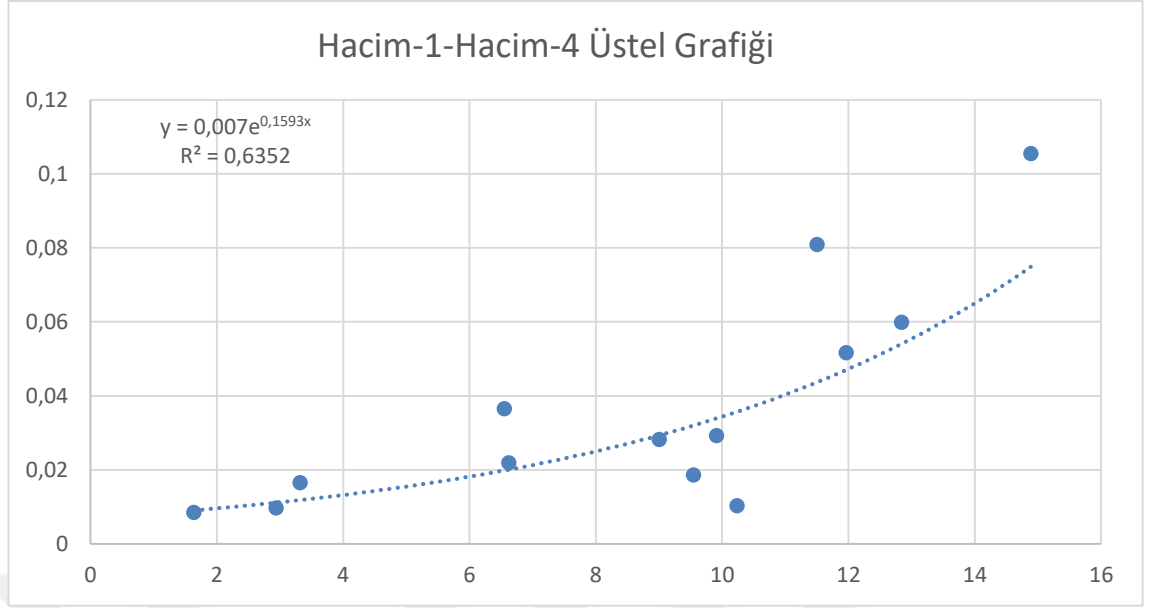
Bu bölüm, Hacim-1'den Hacim-4'e ve Hacim-1'den biyokütleyle denklemleri ile iki alt başlığa ayrılmaktadır.

4.3.1. Hacim-1'den Hacim-4'e regresyon denklem üretimleri

Denklem üretimleri için Hacim-1 ve Hacim-4 değerleri kullanılmıştır. Formül 3.2-3.3-3.4 ve 3.5'e göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda Hacim-1'den Hacim-4'e geçiş için üretilen katsayılar ve denklemler sırasıyla üstel, doğrusal, 2.dereceden polinom ve üssel olarak aşağıda verilmiştir;

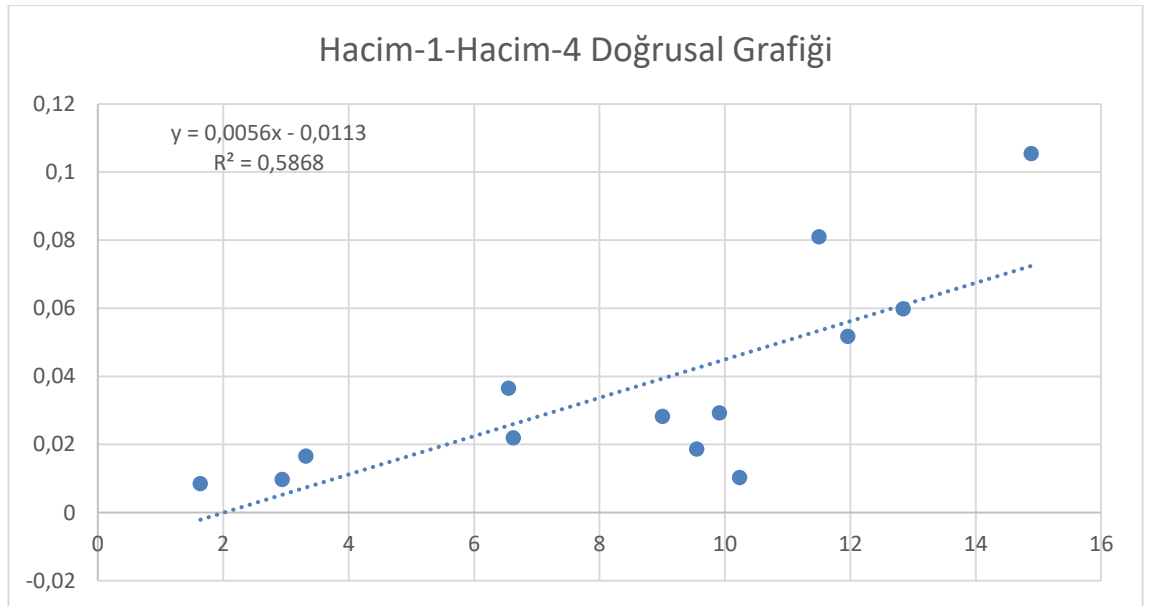
- I. $y_i = 0.007e^{0,1593x_i}$
- II. $y_i = 0.0056x_i - 0.0113$
- III. $y_i = 0.0008x_i^2 - 0.0069x_i + 0.0259$
- IV. $y_i = 0.0044x_i^{0,9192}$

Burada Hacim-1 değerleri x_i ve Hacim-4 değerleri ise y_i olarak alınmıştır. Denklemlere ait grafikler ise aşağıda sırayla verilmiştir.



Şekil 4.3. Hacim-1’den Hacim-4’e üretilen üstel denklem, R² değeri ve grafiği

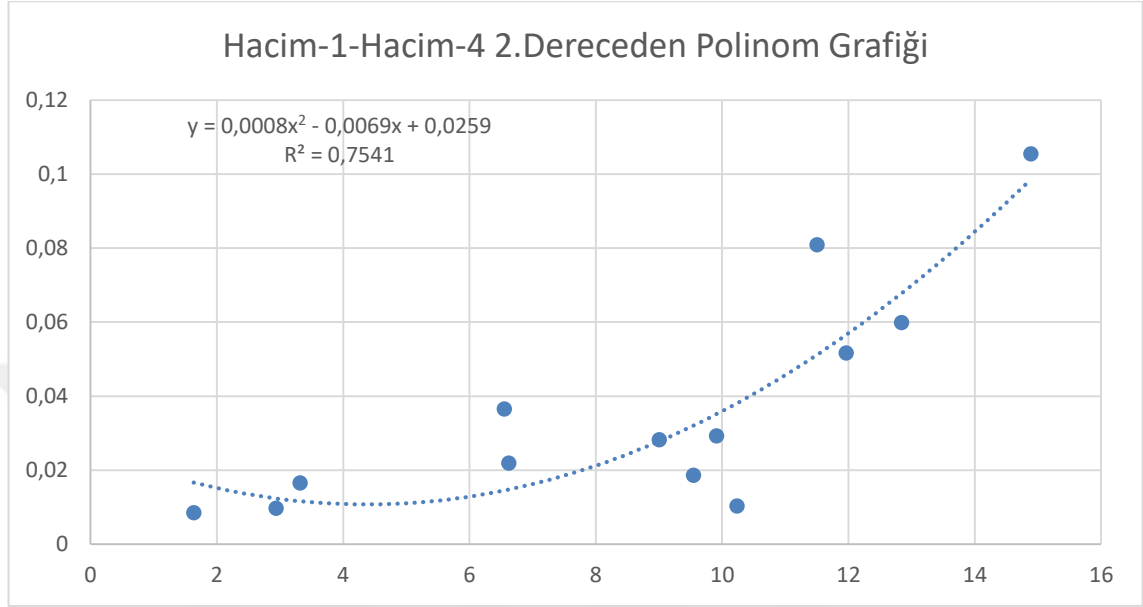
Bu denklemde y değerleri Hacim-4, x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R² değeri 0,6352, korelasyon katsayısı ise 0,7970’dir. Bu durum, Hacim-1 değerlerinin Hacim-4 değerlerine %80 uyumluk verdiğini yani üstel eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.



Şekil 4.4. Hacim-1’den Hacim-4’e üretilen doğrusal denklem, R² değeri ve grafiği

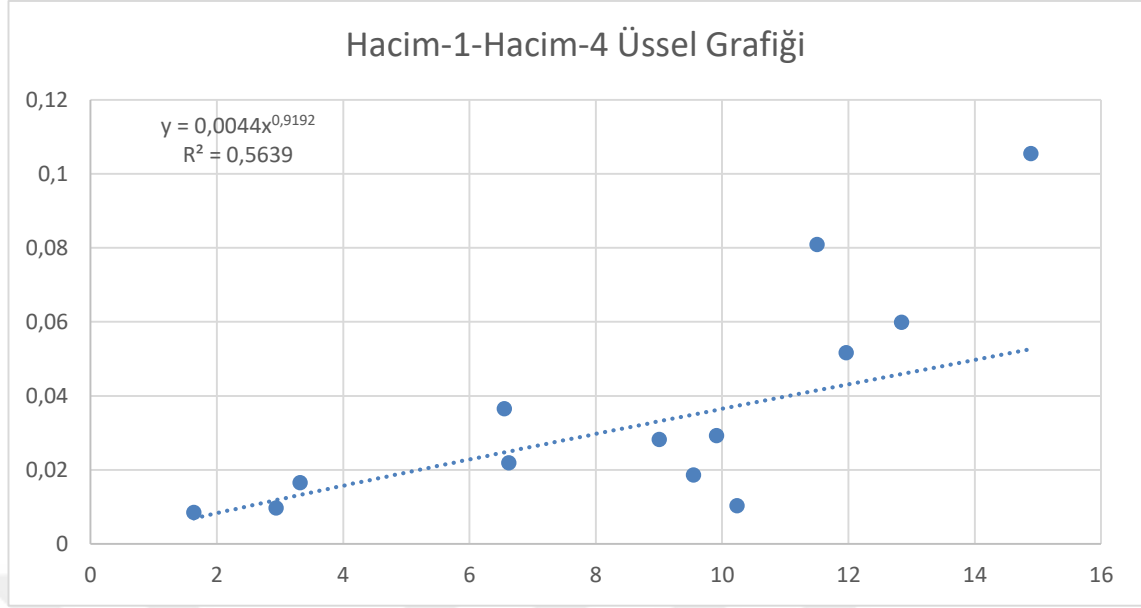
Bu denklemde y değerleri Hacim-4, x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır.

Grafiğine ait R^2 değeri 0,5868, korelasyon katsayısı ise 0,7660'dır. Bu durum, Hacim-1 değerlerinin Hacim-4 değerlerine %77 uyumluk verdiğini yani doğrusal eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.



Şekil 4.5. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 2. dereceden polinom denklem, R^2 değeri ve grafiği

Bu denklemde y değerleri Hacim-4 x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R^2 değeri 0,7541, korelasyon katsayısı ise 0,8684'dir. Bu durum, Hacim-1 değerlerinin Hacim-4 değerlerine %87 uyumluk verdiğini yani 2.dereceden polinom eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.



Şekil 4.6. Hacim-1’den Hacim-4’e üretilen üssel denklem, R² değeri ve grafiği

Bu denklemde y değerleri Hacim-4, x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R² değeri 0,5639, korelasyon katsayısı ise 0,7509’dur. Bu durum Hacim-1 değerlerinin Hacim-4 değerlerine %75 uyumluk verdiğini yani üssel eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.

Hacimler m³ olarak alınarak denklemlerden elde edilen sonuçlar, sonuçların aritmetik ortalamaları, standart sapmaları ve standart hataları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Hacim-1’den Hacim-4’e üretilen denklemlerden elde edilen veriler

Ağaç no	nDSM VOLUME TOTAL (m ³)	Tüm hacim (m ³)	ÜSTEL	DOĞRUSAL	2. DERECEDEDEN POLİNOMAL	ÜSSEL
1	6.55	0.03648	0.019872267	0.02538	0.015027	0.024759489
2	12.843	0.05983	0.054152278	0.0606208	0.069237419	0.045976818
3	3.316	0.01653	0.011871599	0.0072696	0.011816285	0.013243462
4	14.888	0.10544	0.075006033	0.0720728	0.100494835	0.052665215
5	10.237	0.01026	0.035754075	0.0460272	0.039101635	0.03732531
6	9.912	0.02924	0.033950098	0.0442072	0.036105395	0.036234656
7	11.962	0.05167	0.04706157	0.0556872	0.057833755	0.04306951
8	11.501	0.08091	0.043729348	0.0531056	0.052361501	0.041541373
9	9.004	0.0282	0.029378037	0.0391224	0.028630013	0.033171856
10	2.938	0.009675	0.011177843	0.0051528	0.012533275	0.011849114
11	6.624	0.0219	0.020107912	0.0257944	0.015296301	0.025016496
12	1.634	0.0085	0.0090812	0.0021496	0.016761365	0.006909935
13	9.549	0.01857	0.032042587	0.0421744	0.032958621	0.035013052
		aritmetik ortama	aritmetik ortama	aritmetik ortama	aritmetik ortama	aritmetik ortama
		0.036708077	0.032552681	0.036828	0.037550569	0.031290484
			standart sapma	standart sapma	standart sapma	standart sapma
			0.018351194	0.021365419	0.02545711	0.013515645
			standart hata	standart hata	standart hata	standart hata
			0.005089705	0.005925701	0.007060532	0.003748565

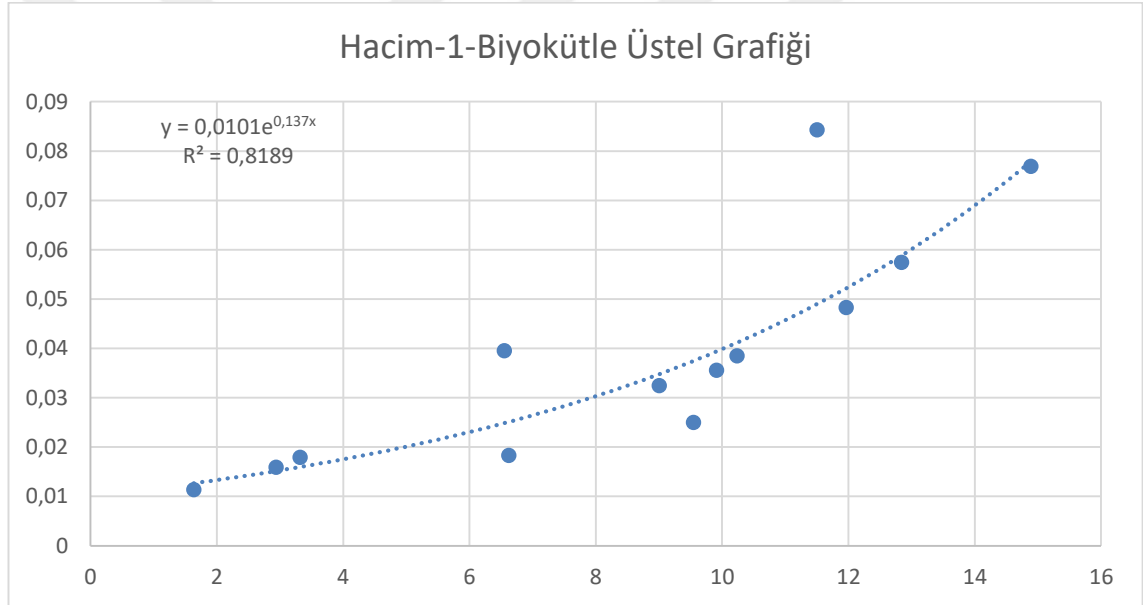
Grafik ve tablo değerleri incelendiğinde verilen dört denklemde, %75 üstünde hacim değerleri ile uyumluluk göstermektedir. Bu oran ise elde edilen dört denklemde biyokütle olarak kullanılabilirliğini sağlamaktadır. Çalışmanın devamındaki hesaplamalar için ise en yüksek uyumluluğu veren 1. ve 3. denklemler seçilmiştir. Bu denklemlerin uyumlulukları ise sırasıyla %79 ve %89’dur.

4.3.2. Hacim-1'den biyokütle (Kabiyosis)'e regresyon denklem üretimleri

Denklem üretimleri için İHA verilerinden elde edilen Hacim-1'ler ve Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerleri kullanılmıştır. Formül 3.2-3.3-3.4 ve 3.5'e göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda Hacim-1'den biyokütleye geçiş için üretilen katsayılar ve denklemler sırasıyla üstel, doğrusal, 2.dereceden polinom ve üssel olarak aşağıda verilmiştir;

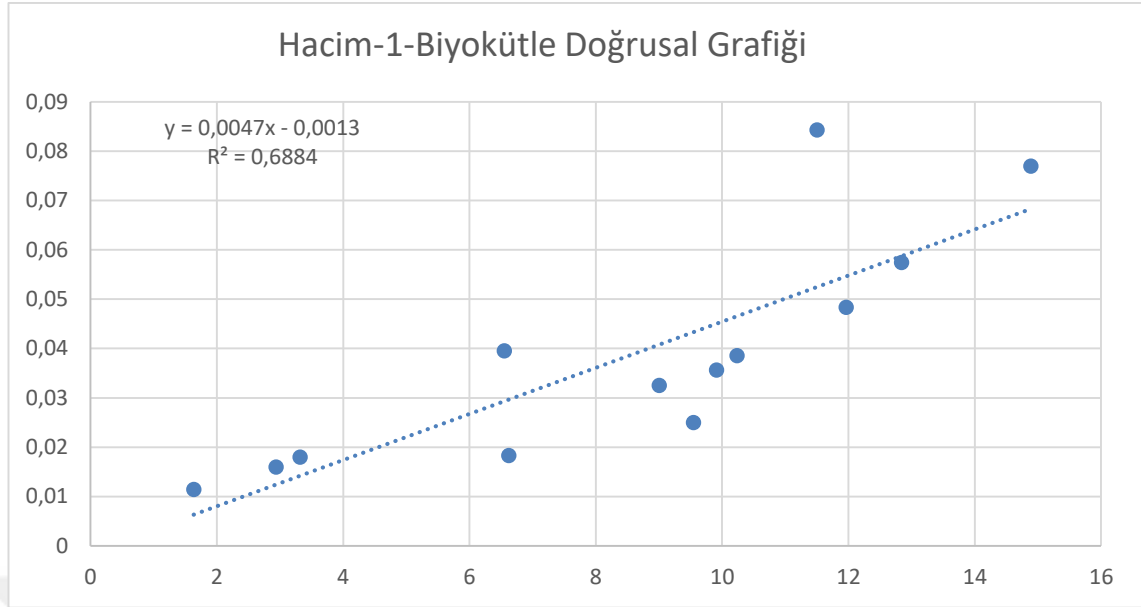
- I. $y_i = 0.0101e^{0.137x_i}$
- II. $y_i = 0.0047x_i - 0.0013$
- III. $y_i = 0.0003x_i^2 - 0.0004x_i + 0.0138$
- IV. $y_i = 0.0065x_i^{0.8094}$

Bu denklemler de x_i değerleri yerine Hacim-1, y_i değerleri yerine de biyokütelleri alınmıştır.



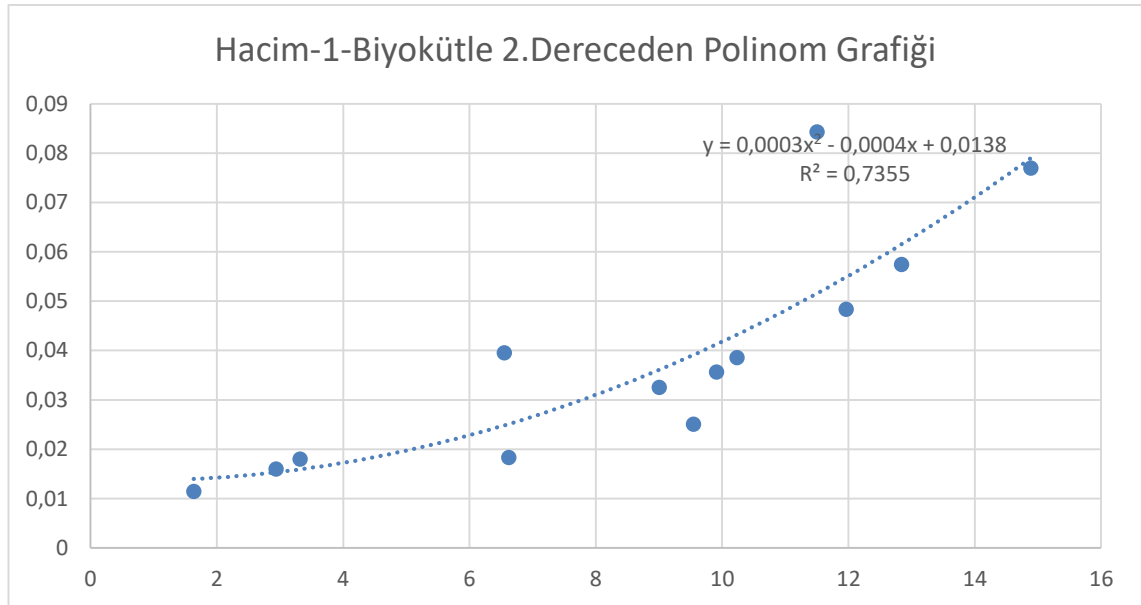
Şekil 4.7. Hacim-1'den biyokütleye üretilen üstel denklem, R^2 değeri ve grafiği

Bu denklemde y değerleri biyokütle x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R^2 değeri 0,8189, korelasyon katsayısı ise 0,9049'dir. Bu ise bize Hacim-1 değerlerinin biyokütle değerlerine %90 uyumluk verdiğini yani üstel eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.



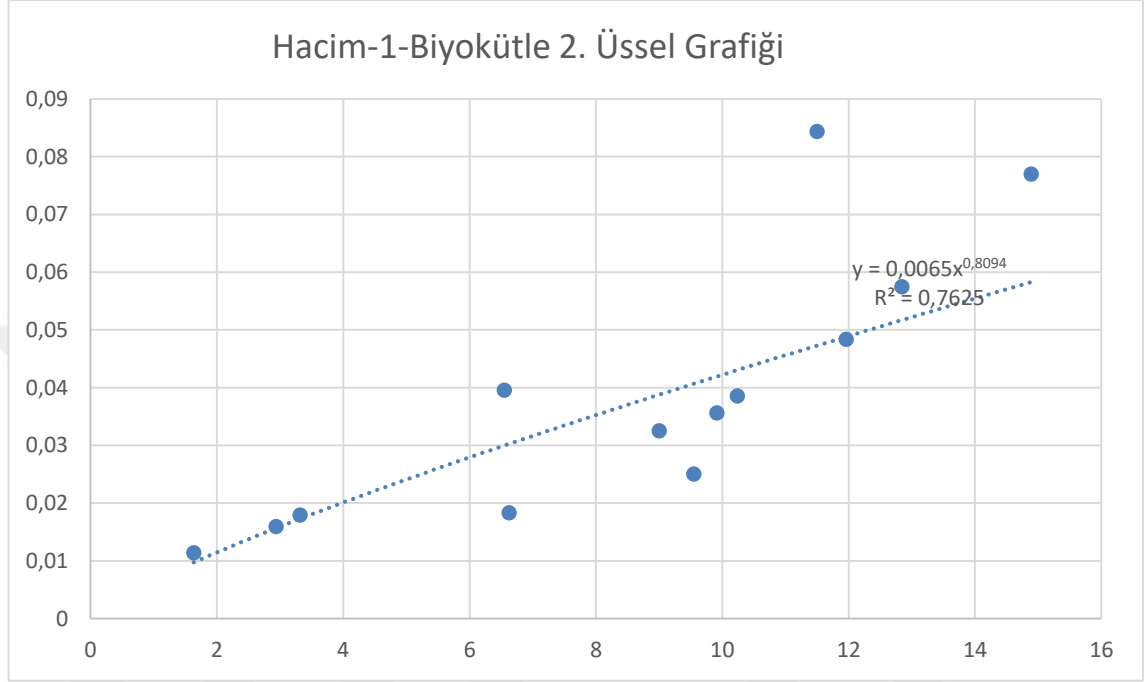
Şekil 4.8. Hacim-1’den biyokütleyle üretilen doğrusal denklem, R^2 değeri ve grafiği

Bu denklemde y değerleri biyokütle x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R^2 değeri 0,6884, korelasyon katsayısı ise 0,8296’dır. Bu ise bize Hacim-1 değerlerinin biyokütle değerlerine %83 uyumluluk verdiğini yani doğrusal eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.



Şekil 4.9. Hacim-1’den biyokütleyle üretilen 2.dereceden polinom denklem, R^2 değeri ve grafiği

Bu denklemde y değerleri biyokütle x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R^2 değeri 0,7355, korelasyon katsayısı ise 0,8576'dır. Bu ise bize Hacim-1 değerlerinin biyokütle değerlerine %86 uyumluk verdiğini yani 2.dereceden polinom eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.



Şekil 4.10. Hacim-1'den biyokütleyle üretilen üssel denklem, R^2 değeri ve grafiği

Bu denklemde y değerleri biyokütle x değerleri ise Hacim-1 olarak alınmıştır. Grafiğine ait R^2 değeri 0,7625, korelasyon katsayısı ise 0,8732'dir. Bu ise bize Hacim-1 değerlerinin biyokütle değerlerine %87 uyumluk verdiğini yani üssel eğim çizgisine bu oranla yaklaştıklarını göstermektedir.

Hacimler m^3 olarak alınarak denklemlerden elde edilen sonuçlar, sonuçların aritmetik ortalamaları, standart sapmaları ve standart hataları hesaplanmıştır (Çizelge 4.11)

Çizelge 4.11. Hacim-1'den biyokütleyle üretilen verilerin aritmetik ortalamaları, standart sapmaları ve standart hataları

Ağaç no	nDSM VOLUME TOTAL (m ³)	Biyokütle (m ³)	ÜSTEL	DOĞRUSAL	2. DERECEDEKİ POLİNOMAL	Üs
1	6.55	0.039518212	0.024776247	0.029485	0.02405075	0.029756309
2	12.843	0.057445418	0.058675744	0.0590621	0.058145595	0.051317797
3	3.316	0.017941516	0.015908084	0.0142852	0.015772357	0.017151367
4	14.888	0.0769459	0.077648437	0.0686736	0.074340563	0.05783718
5	10.237	0.038532351	0.041058769	0.0468139	0.041144051	0.042711728
6	9.912	0.035587668	0.039270729	0.0452864	0.039309523	0.041610823
7	11.962	0.048329156	0.052004457	0.0549214	0.051942033	0.048449327
8	11.501	0.084305855	0.04882158	0.0527547	0.0488815	0.046932399
9	9.004	0.032476968	0.034677235	0.0410188	0.034520005	0.038497581
10	2.938	0.015940574	0.015105236	0.0125086	0.015214353	0.015550862
11	6.624	0.01831088	0.025028706	0.0298328	0.024313613	0.03002812
12	1.634	0.011391958	0.012634023	0.0063798	0.013947387	0.009672073
13	9.549	0.025012038	0.037365523	0.0435803	0.03733542	0.040373024
		aritmetik ortama	aritmetik ortama	aritmetik ortama	aritmetik ortama	aritmetik ortama
		0.038595269	0.037151905	0.038815585	0.036839781	0.036145276
			standart sapma	standart sapma	standart sapma	standart sapma
			0.018238923	0.018401813	0.017584088	0.01422041
			standart hata	standart hata	standart hata	standart hata
			0.005058567	0.005103745	0.004876949	0.003944032

Grafik ve tablo değerleri incelendiğinde verilen dört denklemde, %82 üstünde hacim değerleri ile uyumluluk göstermektedir. Bu oran ise elde edilen dört denklemde biyokütle olarak kullanılabilirliğini sağlamaktadır. Çalışmanın devamındaki hesaplamalar için ise en yüksek uyumluluğu veren 1. ve 3. denklemler seçilmiştir. Bu denklemlerin uyumlulukları ise sırasıyla %90 ve %85'tir.

4.4. FRA 2010'a göre Karbon Tahminleri

FRA 2010 kılavuzu esas alınarak üretilen biyokütle sonuçları, katsayı denklemlerinde yerine konularak karbon tutabilme kapasiteleri belirlenmiştir (Çizelge 4.12-13).

Çizelge 4.12. Çizelge 4.10'daki toprak üstü biyokütle verilerinden üstel ve 2. dereceden polinom kullanılarak üretilen biyokütle ve karbon tahminleri

Ağaç no	ÜSTEL						2.DERECEDEN POLİNOM					
	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ALTI BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ALTI KARBON (gr)	ÖLÜ ODUNDAKİ KARBON (gr)	TOPLAM KARBON (gr)	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ALTI BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ALTI KARBON (gr)	ÖLÜ ODUNDAKİ KARBON (gr)	TOPLAM KARBON (gr)
1	19872.27	9538.688	4769.344	2289.285	95.38688	11923.36	15027	7212.96	3606.48	1731.11	72.1296	9016.2
2	54152.28	25993.09	12996.55	6238.342	259.9309	32491.37	69237.42	33233.96	16616.98	7976.151	332.3396	41542.45
3	11871.6	5698.368	2849.184	1367.608	56.98368	7122.96	11816.28	5671.817	2835.908	1361.236	56.71817	7089.771
4	75006.03	36002.9	18001.45	8640.695	360.029	45003.62	100494.8	48237.52	24118.76	11577.01	482.3752	60296.9
5	35754.08	17161.96	8580.978	4118.869	171.6196	21452.45	39101.64	18768.78	9384.392	4504.508	187.6878	23460.98
6	33950.1	16296.05	8148.024	3911.051	162.9605	20370.06	36105.4	17330.59	8665.295	4159.342	173.3059	21663.24
7	47061.57	22589.55	11294.78	5421.493	225.8955	28236.94	57833.76	27760.2	13880.1	6662.449	277.602	34700.25
8	43729.35	20990.09	10495.04	5037.621	209.9009	26237.61	52361.5	25133.52	12566.76	6032.045	251.3352	31416.9
9	29378.04	14101.46	7050.729	3384.35	141.0146	17626.82	28630.01	13742.41	6871.203	3298.177	137.4241	17178.01
10	11177.84	5365.365	2682.682	1287.688	53.65365	6706.706	12533.28	6015.972	3007.986	1443.833	60.15972	7519.965
11	20107.91	9651.798	4825.899	2316.431	96.51798	12064.75	15296.3	7342.224	3671.112	1762.134	73.42224	9177.78
12	9081.2	4358.976	2179.488	1046.154	43.58976	5448.72	16761.36	8045.455	4022.728	1930.909	80.45455	10056.82
13	32042.59	15380.44	7690.221	3691.306	153.8044	19225.55	32958.62	15820.14	7910.069	3796.833	158.2014	19775.17

Çizelge 4.13. Toprak üstü biyokütle verilerinden üstel ve 2. dereceden polinom kullanılarak üretilen biyokütle ve karbon tahminleri

Ağaç no	ÜSTEL						2.DERECEDEN POLİNOM					
	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ALTI BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ALTI KARBON (gr)	ÖLÜ ODUNDAKİ KARBON (gr)	TOPLAM KARBON (gr)	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ALTI BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ALTI KARBON (gr)	ÖLÜ ODUNDAKİ KARBON (gr)	TOPLAM KARBON (gr)
1	24776.25	11892.6	5946.299	2854.224	118.926	14865.75	24050.75	11544.36	5772.18	2770.646	115.4436	14430.45
2	58675.74	28164.36	14082.18	6759.446	281.6436	35205.45	58145.59	27909.89	13954.94	6698.373	279.0989	34887.36
3	15908.08	7635.88	3817.94	1832.611	76.3588	9544.851	15772.36	7570.731	3785.366	1816.976	75.70731	9463.414
4	77648.44	37271.25	18635.62	8945.1	372.7125	46589.06	74340.56	35683.47	17841.74	8564.033	356.8347	44604.34
5	41058.77	19708.21	9854.104	4729.97	197.0821	24635.26	41144.05	19749.14	9874.572	4739.795	197.4914	24686.43
6	39270.73	18849.95	9424.975	4523.988	188.4995	23562.44	39309.52	18868.57	9434.286	4528.457	188.6857	23585.71
7	52004.46	24962.14	12481.07	5990.913	249.6214	31202.67	51942.03	24932.18	12466.09	5983.722	249.3218	31165.22
8	48821.58	23434.36	11717.18	5624.246	234.3436	29292.95	48881.5	23463.12	11731.56	5631.149	234.6312	29328.9
9	34677.24	16645.07	8322.536	3994.817	166.4507	20806.34	34520	16569.6	8284.801	3976.705	165.696	20712
10	15105.24	7250.513	3625.257	1740.123	72.50513	9063.141	15214.35	7302.89	3651.445	1752.693	73.0289	9128.612
11	25028.71	12013.78	6006.89	2883.307	120.1378	15017.22	24313.61	11670.53	5835.267	2800.928	116.7053	14588.17
12	12634.02	6064.331	3032.166	1455.439	60.64331	7580.414	13947.39	6694.746	3347.373	1606.739	66.94746	8368.432
13	37365.52	17935.45	8967.725	4304.508	179.3545	22419.31	37335.42	17921	8960.501	4301.04	179.21	22401.25

Bu iki çizelgede de Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'den elde edilen canlı biyokütle

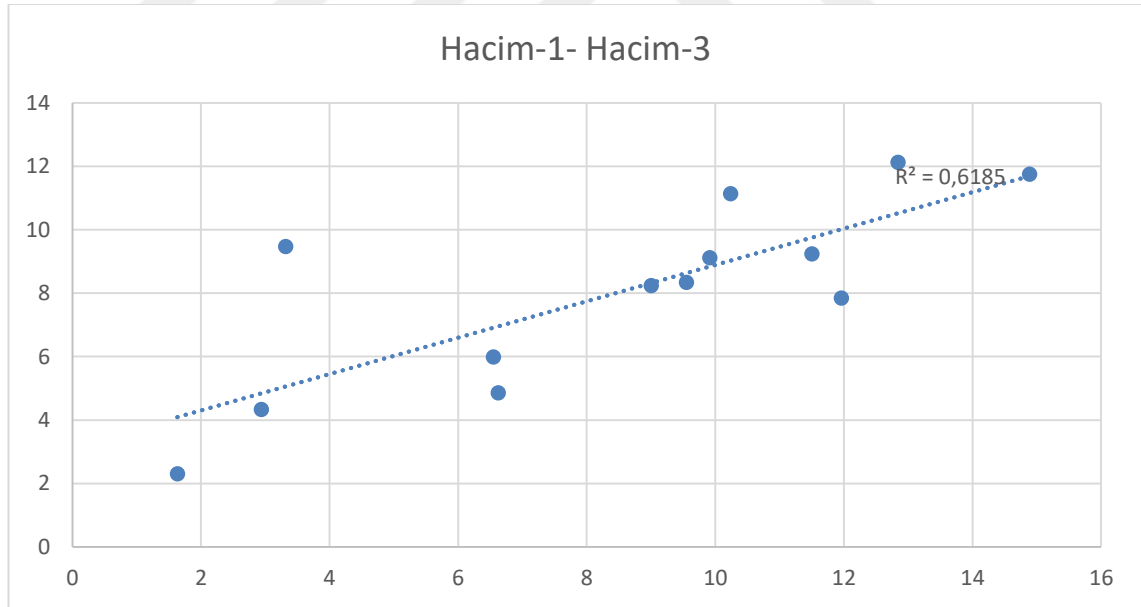
değerleri, metreküpten grama çevrilerek kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar toprak üstü canlı biyokütleden elde edilen karbon tutabilme kapasitelerini göstermektedir. Bunların haricinde elde edilen biyokütle sonuçları yine FRA-2010 kılavuzundaki katsayılar yardımı ile toprak altı biyokütle, toprak altı karbon tutabilme kapasiteleri ve ölü odundaki karbon kapasitesi de bulunabilmektedir. Bu üç sonucun toplamı ile toplam karbon tutabilme kapasiteleri belirlenmiştir. Burada elde edilen toplam karbon miktarı, Karbiyosis'den elde edilen toplam karbon ile karıştırılmamalıdır. Karbiyosis'den elde edilen toplam karbon sadece toprak üstü toplam karbon miktarını temsil etmektedir.

4.5. Verilerin Karşılaştırılması

Öncelikli olarak İHA verilerinden elde edilen Hacim-1 değerleri ile arazi çalışmaları sonucunda elde edilmiş olan Hacim-3 değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.11). Uyumluluk için korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Çıkacak olan sonuçlar +1 ve -1 arasında değerler alabilir. Dizeler +1'e yakınsa, pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayı denklemi ise aşağıda verildiği gibidir.

$$Correl(X,Y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

$\bar{x}$ ve $\bar{y}$ örnek ortalamalarıdır.

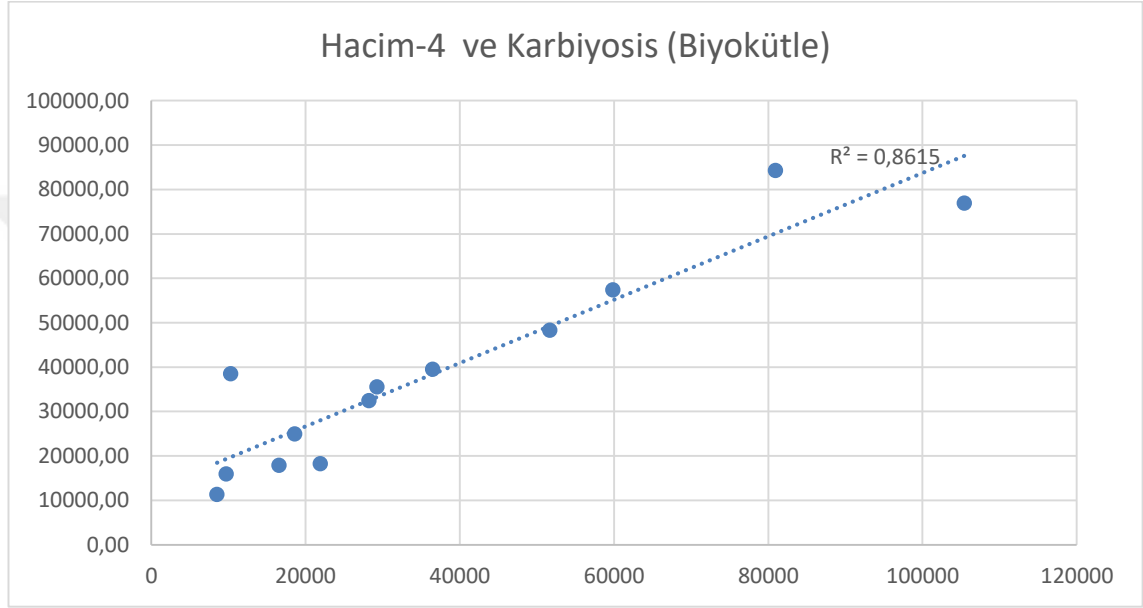


Şekil 4.11. Hacim-1 ve Hacim-3 değerlerinin karşılaştırılması

Doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,6185 korelasyon katsayısı ise 0,7864'tür, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %79 uyumluluk bulunmaktadır. Bu ise bize İHA verilerinden elde edilen Hacim-1 değerlerinin, arazi verilerinden elde edilen ağaç taç şekillerinden, taç tahminleri için üretilen Hacim-3

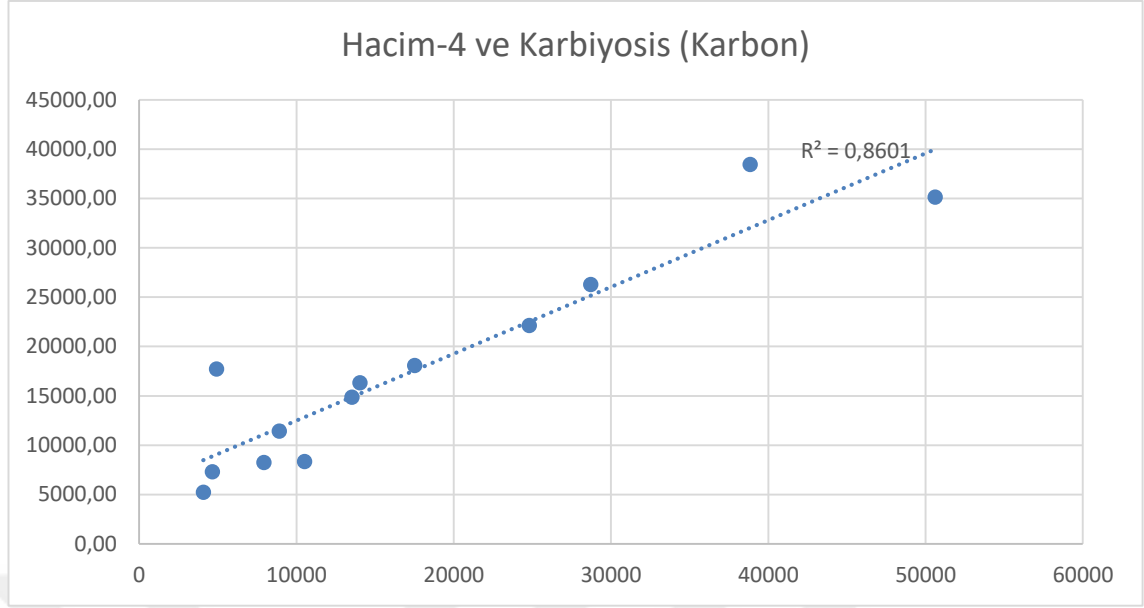
değerleri ile pozitif bir uyumluluk içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu iki veri setinin %100 uyuşmama sebebi ise taç şekil modellerinin çalışma alanındaki tüm ağaçlar ile %100 örtüşmemesidir. Örnek alınan ağaçlar için şekilsel olarak, ortalama en uygun olan model seçilmiştir.

Arazi çalışmalarından elde edilen Hacim-4 değerlerinin toprak üstü biyokütle olarak alındığı ve karbon hesabının yapıldığı Çizelge 4.7 ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle ve karbon değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.12, 4.13).



Şekil 4.12. Hacim-4'ten üretilen biyoküteller ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması

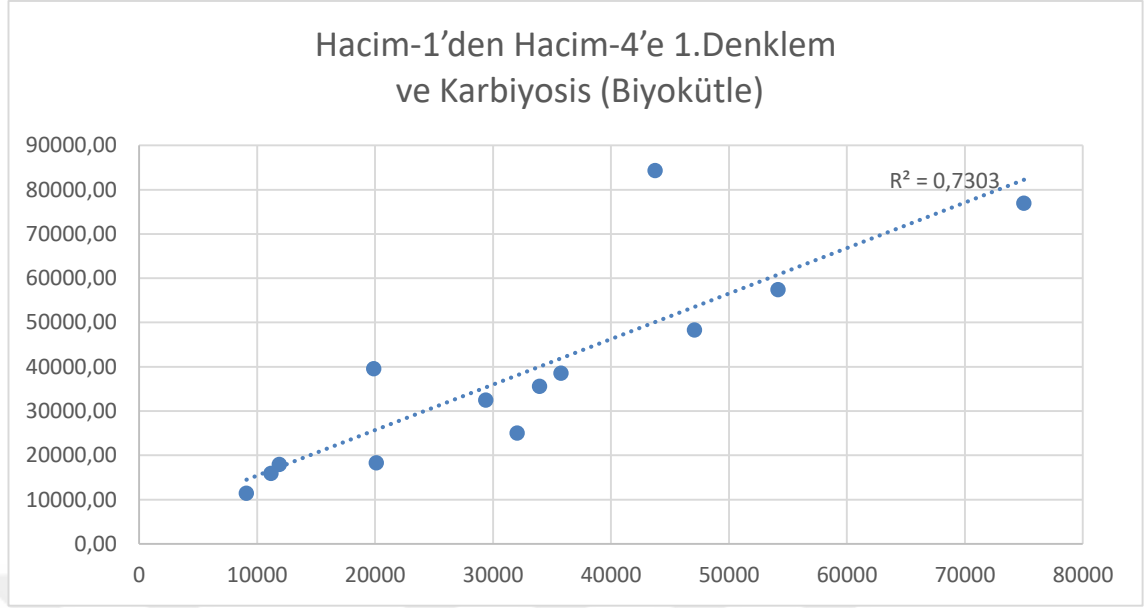
Hacim-4'ten üretilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerleri karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,8615 korelasyon katsayısı ise 0,9281'dir, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %93 uyumluluk bulunmaktadır.



Şekil 4.13. Hacim-4'ten üretilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması

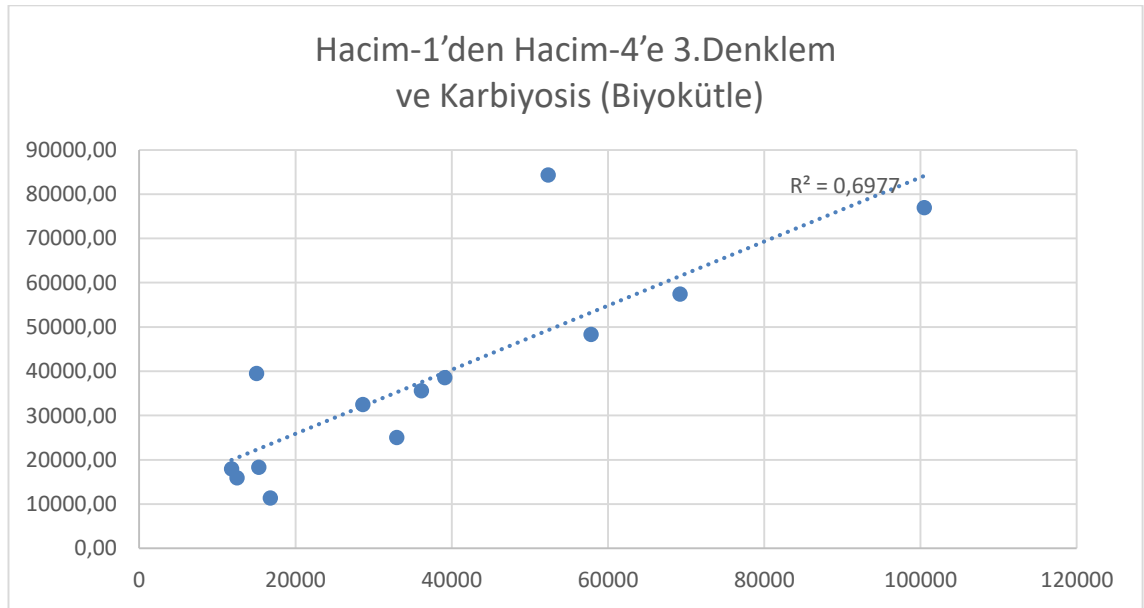
Hacim-4'ten üretilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerleri karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,8601 korelasyon katsayısı ise 0,9274'dür, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %93 uyumluluk bulunmaktadır. Şekil 4.12, 4.13'ten elde edilen sonuçlar Hacim-4 değerlerinin toprak üstü canlı biyokütle olarak alınabileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.12'de 1. ve 3. denklemlerden elde edilen toplam toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri Karbiyosis'den elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ile karşılaştırılıp aralarındaki uyumluluk tespit edilmiştir (Şekil 4.14, 4.15, 4.16, 4.17).



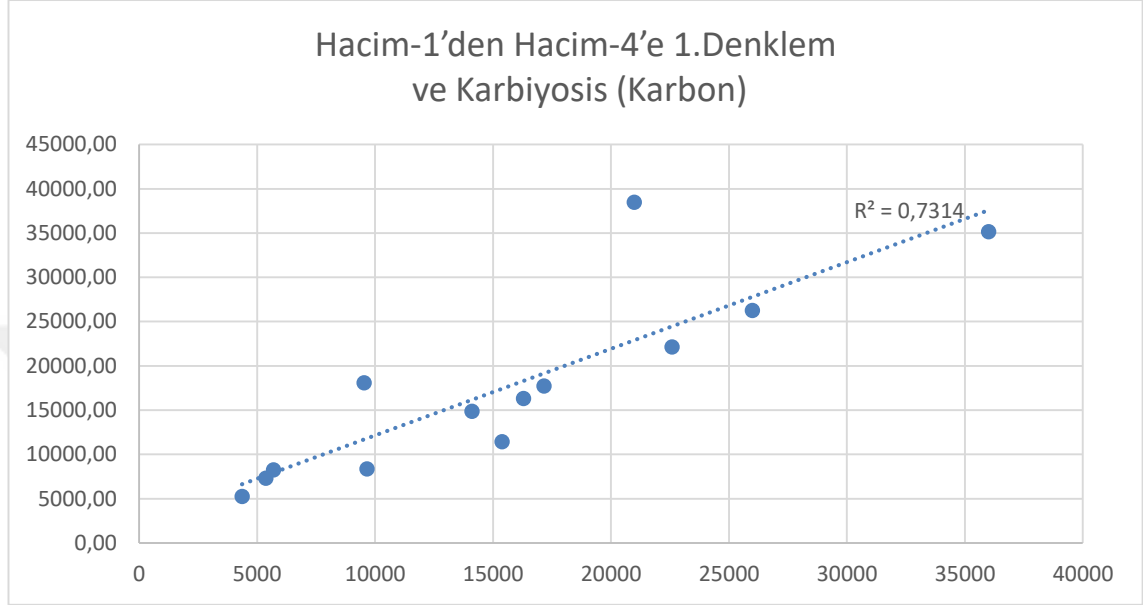
Şekil 4.14. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 1. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması

Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 1. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,7303 korelasyon katsayısı ise 0,8546'dır, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %85 uyumluluk bulunmaktadır.



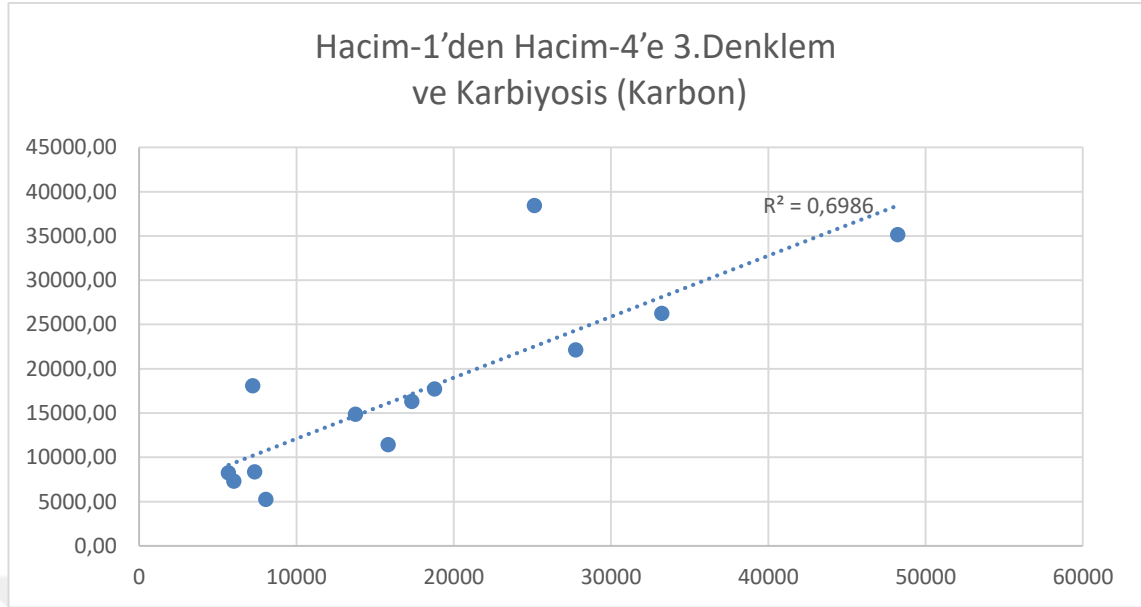
Şekil 4.15. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 3. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması

Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 3. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,6977 korelasyon katsayısı ise 0,8353'tür, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %84 uyumluluk bulunmaktadır.



Şekil 4.16. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 1. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması

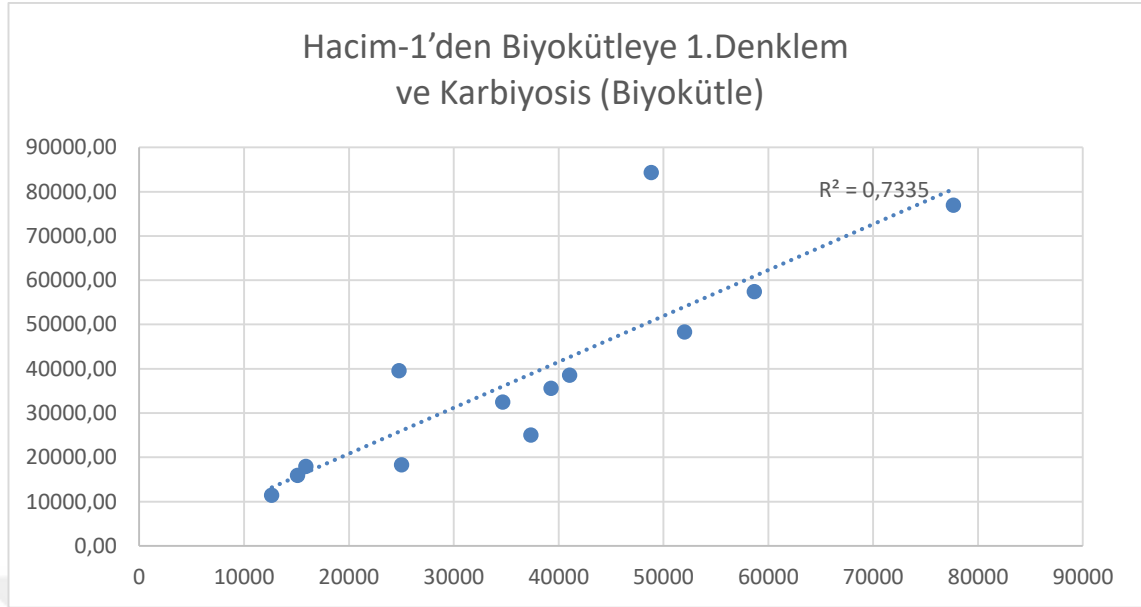
Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 1. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,7314 korelasyon katsayısı ise 0,8552'dir, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %86 uyumluluk bulunmaktadır.



Şekil 4.17. Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 3. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması

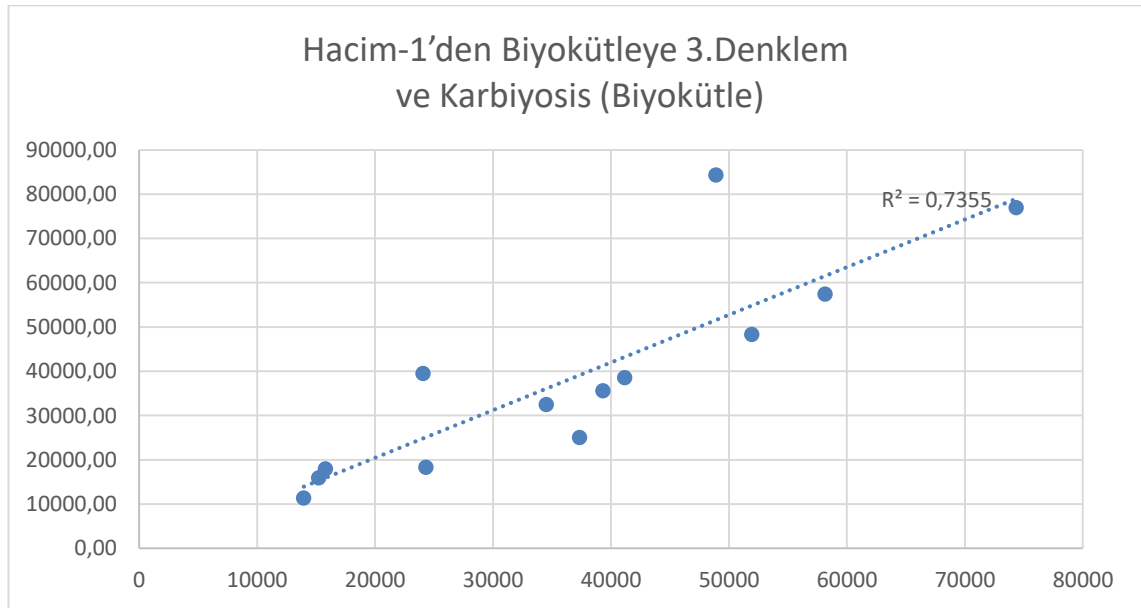
Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen 3. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,6986 korelasyon katsayısı ise 0,8358'dir, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %84 uyumluluk bulunmaktadır.

Çizelge 4.13'te 1. ve 3. denklemlerden elde edilen toplam toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri Karbiyosis'den elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ile karşılaştırılıp aralarındaki uyumluluk tespit edilmiştir (Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21).



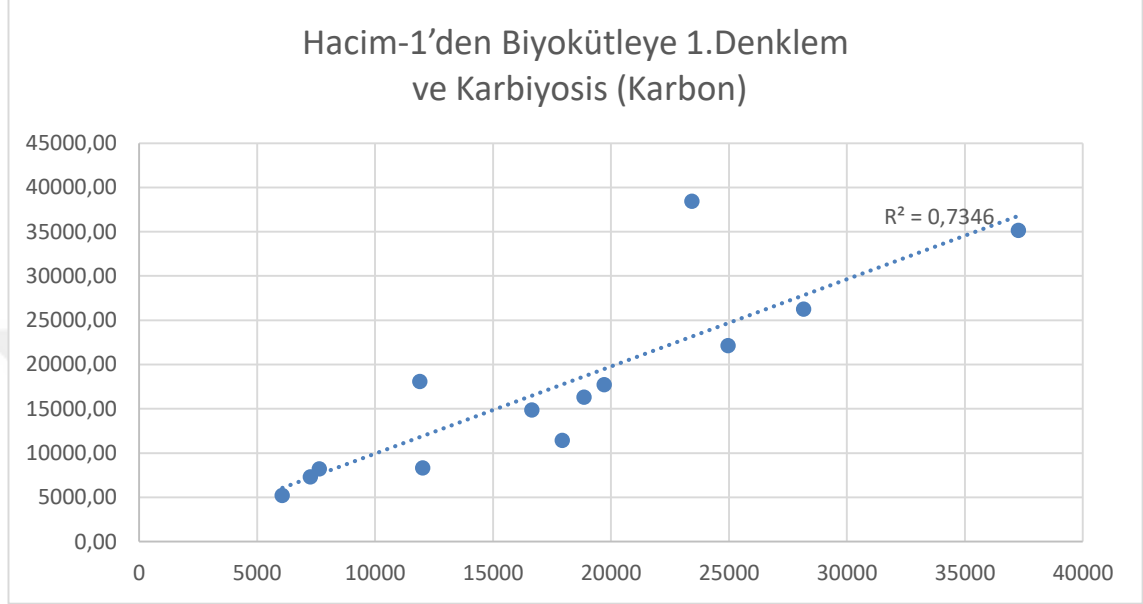
Şekil 4.18. Hacim-1'den biyokütleye üretilen 1. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması

Hacim-1'den biyokütleye üretilen 1. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,7335 korelasyon katsayısı ise 0,8564'tür, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %86 uyumluluk bulunmaktadır.



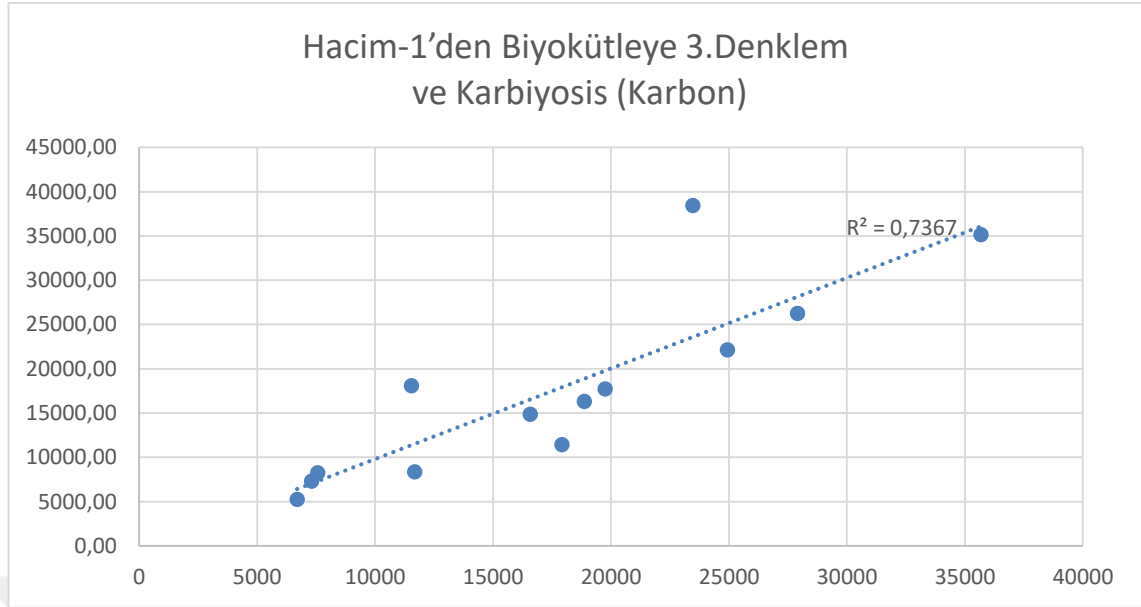
Şekil 4.19. Hacim-1'den biyokütleye üretilen 3. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırılması

Hacim-1'den biyokütleye üretilen 3. denklemden elde edilen biyokütle ile Karbiyosis'den elde edilen biyokütle değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,7355 korelasyon katsayısı ise 0,8576'dır, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %86 uyumluluk bulunmaktadır.



Şekil 4.20. Hacim-1'den biyokütleye üretilen 1. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması

Hacim-1'den biyokütleye üretilen 1. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,7346 korelasyon katsayısı ise 0,8571'dir, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %86 uyumluluk bulunmaktadır.



Şekil 4.21. Hacim-1'den biyokütleye üretilen 3. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırılması

Hacim-1'den biyokütleye üretilen 3. denklemden elde edilen karbon ile Karbiyosis'den elde edilen karbon değerlerinin karşılaştırıldığında, doğrusal eğim çizgisi üzerinde R^2 değeri 0,7367 korelasyon katsayısı ise 0,8583'tür, yani bu iki veri seti arasında pozitif korelasyon ve %86 uyumluluk bulunmaktadır.

Her iki yöntemde elde edilen 4 denklemin sonucu da birbirlerine oldukça yakın değerler vermektedir. Bulgularda elde edilenleri genel olarak özetlemek gerekirse;

- 1- İHA verilerinden Hacim-1 ve Hacim-2 değerlerinin elde edilmesi için;
 - İHA verilerinden ortofoto, DSM, DTM ve nDSM verilerinin üretimi
 - Ortofotonun ISODATA algoritması ile sınıflandırılması
 - Sınıflandırılmış görüntüden ağaç taç alanlarının çıkarılması
 - Ağaç taç alanlarının nDSM verisi üzerinde Agisoft yazılımında açılması ve Hacim-1 değerlerinin çıkarılması
 - nDSM verisinin ArcMap yazılımında işlenmesi ile taç çapları ve ağaç yüksekliklerinin elde edilmesi sonucuyla 'Expanded Paraboloid' model kullanılarak Hacim-2 değerlerinin tahmini
 - Buradan elde edilen Hacim-1 ve Hacim-2'nin ortalama değerleri sırasıyla 8,535 m³ ve 7,638 m³'dür.
- 2- Arazi verilerinden ağaçların biyokütle, karbon, Hacim-3 ve Hacim-4 değerlerinin elde edilmesi;
 - Arazi çalışmaları ile ağaç yüksekliği 3,7 m, gövde yüksekliği 1,59 m, taç yüksekliği 2,11 m, taç kısa çapı 2,47 m, taç uzun çapı 2,99 m, gövde alt çapı 15,35 cm, gövde üst çapı 12,90 cm, kabuk kalınlığı 0,10 cm, örnek alınan dal ağırlığı 254,62 gr, örnek alınan yaprak ağırlığı 129,71 gr ve örnek alınan dalların hacimleri 0,0003 m³ ortalama

değerleri elde edilmiştir.

- Hacim-3 değerleri araziden elde edilen taç çapları ve taç yükseklikleri 'Expanded Paraboloid' modelde kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen Hacim-3 değerlerinin ortalaması ise $8,0516 \text{ m}^3$ 'tür.
- Hacim-4 değerleri ise örnek alınan dal hacimlerinin tüme oranlanması ile elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin ortalaması ise $0,037 \text{ m}^3$ 'tür.
- Hacim-4 değerleri grama çevrilerek canlı biyokütle olarak kullanılmıştır ve elde edilen biyokütle değerlerinin ortalaması ise $36.708,08 \text{ gr}$ 'dır. Bu değer FRA 2010 katsayılarında kullanılarak, toprak üstü karbon, toprak altı biyokütle, toprak altı karbon, ölü odundaki karbon ve toplam karbon değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları ise sırasıyla, $17.619,88 \text{ gr}$, $8.809,94 \text{ gr}$, $4.228,77 \text{ gr}$, $176,19 \text{ gr}$ ve $22.024,85 \text{ gr}$ 'dır.
- Arazi çalışmalarında elde edilen ağaçların, yaprak tipi, gövde yüksekliği, gövde alt çapı, gövde üst çapı, kabuk kalınlığı, örnek alınan dal yüzdesi, örnek alınan dal ağırlığı, örnek alınan yaprak yüzdesi ve örnek alınan yaprak ağırlığı değerleri Karbiyosis'de kullanılmıştır. Elde edilen ortalama biyokütle değerleri ise sırasıya; gövde $14.852,33 \text{ gr}$, gövde kabuğu $406,16 \text{ gr}$, dal $16.821,78 \text{ gr}$, yaprak $6.515,01 \text{ gr}$, toplam biyokütle değeri ortalaması ise $38.595,27 \text{ gr}$ 'dır, ortalama karbon tutma miktarları ise gövde $6.872,18 \text{ gr}$, gövde kabuğu $184,35 \text{ gr}$, dal $7.758,20 \text{ gr}$, yaprak $28.36,63 \text{ gr}$, toplam karbon tutma miktarı ise $17.651,36 \text{ gr}$ olarak elde edilmiştir.

3- Regresyon denklemleri, elde edilen sonuçları ve verilerin karşılaştırılması ise;

- Hacim-1'den Hacim-4'e ve Hacim-1'den biyokütleyle olmak üzere iki farklı yöntem için dörder farklı regresyon denklemleri üretilmiştir. Bu denklemler sırasıyla üstel, doğrusal, 2.dereceden polinom ve üssel'den oluşmaktadır.
- Her iki yöntem içinde, yüksek korelasyona sahip iki denklem seti seçilmiştir. Bunlar üstel ve 2.dereceden polinom denklemleridir.
- Hacim-1'den, Hacim-4'e üstel ve 2. dereceden polinom denklemlerinin korelasyonu %79 ve %89 iken Hacim-1'den biyokütleyle ise %90 ve %85'tir.
- Bu iki yöntemle üretilen denklemler ile toprak üstü biyokütle tahmin edilmiştir. Toprak üstü karbon değerleri için ise FRA 2010'daki karbon katsayıları kullanılmıştır.
- Hacim-1'den, Hacim-4'e üstel denklem ile üretilen ortalama toprak üstü biyokütle değeri $32.552,68 \text{ gr}$ iken toprak üstü karbon değeri ise $15.625,29 \text{ gr}$ 'dır. 2. Dereceden polinom denklemi ile üretilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ise sırasıyla $37.550,57 \text{ gr}$ ve $18.024,27 \text{ gr}$ 'dır.
- Hacim-1'den biyokütleyle üstel denklem ile üretilen ortalama toprak üstü biyokütle değeri $37.151,91 \text{ gr}$ iken toprak üstü karbon değeri ise $17.832,91 \text{ gr}$ 'dır. 2. Dereceden polinom denklemi ile üretilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ise sırasıyla $36.839,78 \text{ gr}$ ve $17.683,09 \text{ gr}$ 'dır.
- Hacim-1'den Hacim-4'e üstel ve 2.derecen polinom denklemleri ile üretilen biyokütle değerlerinin, Karbiyosis sonuçları ile karşılaştırılmasıyla elde edilen uyumluluklar %85 ve %84 iken karbon için

uyumluluk ise %86 ve %84'tür.

- Hacim-1'den biyokütle, üstel ve 2. Dereceden denklemleri ile üretilen biyokütle ve karbon değerlerinin, Karbiyosis sonuçları ile karşılaştırılmasıyla elde edilen uyumlulukların tümü ise %86'dır.

Yapılan bu çalışmada, ağaçlara ait arazi çalışmalarından elde edilen hacim (Hacim-4) değerlerinin ortalaması $0,0367 \text{ m}^3$ 'dür. İHA verilerinden elde edilen hacim (Hacim-1) değerlerinden, arazi çalışmalarından elde edilen hacim (Hacim-4) değerlerine geçiş için kullanılan üstel ve 2. Dereceden polinom denklemlerinin sonucunda üretilen hacim değerleri ise sırasıyla; $0,0326 \text{ m}^3$ ve $0,0376 \text{ m}^3$ 'tür. Elde edilen bu hacim değerlerinin %100'ü ağaçların toprak üstü biyokütlesi olarak ele alınmıştır. Elde edilen bu değerlerin yaklaşık olarak doğruluğu literatürdeki benzer bir çalışma olan, Velázquez-Martí, Estornell, Cortés ve Gavilá (2012) taraflarınca hazırlanan dendrometri yöntemi ile portakal ve mandalina ağaçlarının hacim ve biyokütle hesaplamaları ile kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslama sonucu, ilgili çalışmadaki hacim ve biyokütle değerlerinin, bu çalışmadan elde edilen değerler ile büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Her iki çalışmada da kullanılan bitki türlerinin benzer olması, fiziksel özelliklerinin birbirine yakın olması, karşılaştırma yapılabilmesi için uygun bulunmuştur.

Betancourt vd. (2014) tarafından, Küba koşullarında narenciye bahçeleri portakal ve greyfurt ağaçları için allometrik denklemler ile tutulan karbon miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ile yapılan kıyaslamalarının sonucunda Betancourt vd. (2014)'nin elde ettiği karbon sonuçları oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise her iki ağaç türü için ortalama hacim değerleri sırasıyla $0,1154 \text{ m}^3$ ve $0,1050 \text{ m}^3$ olarak verilmiştir. Bu da bize ağaçların birimsel (yaş, taç uzunluğu, taç çapı, gövde çapı, gövde yüksekliği, ağaç yüksekliği) olarak oldukça büyük olduklarını göstermektedir, ayrıca örnek alınan ağaçların yaşları ise 30-35'tir. Verilen hacim değerleri, çalışmamızdaki hacim değerleri ile orantılandığında elde edilen karbon değerleri yaklaşık sonuçlar vermektedir.

Narenciye ağaçlarına ait biyokütle ve karbon tutabilme kapasiteleri üzerine yapılan diğer çalışmalar ise Cox (2012), Sahoo vd. (2021) ve Yasin vd. (2021) taraflarınca oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışmalarda kuru biyokütle değerleri elde edildiği için kıyaslama yapıldığında değerlerde farklılıklar gözlemlenecektir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İHA ile elde edilen verilerden bireysel ağaçlara ait biyokütle ve karbon tutma kapasitelerinin belirlenmesi için geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalar yapılmıştır (Çizelge 5.1). Bu kapsamda, İHA ile elde edilen görüntülerin geleneksel yöntemlere göre hacim, biyokütle ve karbon tutum hesabında kullanılabilirliği ve doğruluğu ortaya konulmuştur.

Çizelge 5.1. Üç farklı yöntemle elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon tahminleri

	HACİM1'DEN HACİM4'E				HACİM1'DEN BİYOKÜTLEYE				KARBİYOSİS	
	1.DENKLEM		3.DENKLEM		1.DENKLEM		3.DENKLEM			
Ağaç no	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)	TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)
1	19872.27	9538.688	15027	7212.96	24776.25	11892.6	24050.75	11544.36	39518.21	18081.54
2	54152.28	25993.09	69237.42	33233.96	58675.74	28164.36	58145.59	27909.89	57445.42	26261.44
3	11871.6	5698.368	11816.28	5671.817	15908.08	7635.88	15772.36	7570.731	17941.52	8226.09
4	75006.03	36002.9	100494.8	48237.52	77648.44	37271.25	74340.56	35683.47	76945.9	35137.12
5	35754.08	17161.96	39101.64	18768.78	41058.77	19708.21	41144.05	19749.14	38532.35	17722.03
6	33950.1	16296.05	36105.4	17330.59	39270.73	18849.95	39309.52	18868.57	35587.67	16302.22
7	47061.57	22589.55	57833.76	27760.2	52004.46	24962.14	51942.03	24932.18	48329.16	22124.85
8	43729.35	20990.09	52361.5	25133.52	48821.58	23434.36	48881.5	23463.12	84305.85	38446.36
9	29378.04	14101.46	28630.01	13742.41	34677.24	16645.07	34520	16569.6	32476.97	14860.64
10	11177.84	5365.365	12533.28	6015.972	15105.24	7250.513	15214.35	7302.89	15940.57	7303.34
11	20107.91	9651.798	15296.3	7342.224	25028.71	12013.78	24313.61	11670.53	18310.88	8340.41
12	9081.2	4358.976	16761.36	8045.455	12634.02	6064.331	13947.39	6694.746	11391.96	4229.52
13	32042.59	15380.44	32958.62	15820.14	37365.52	17935.45	37335.42	17921	25012.04	11432.18
Aritmetik ortalama	32552.68	15625.29	37550.57	18024.27	37151.91	17832.91	36839.78	17683.09	38595.27	17651.36

Hacim-1'den Hacim-4'e üretilen, 1. denklemden elde edilen ortalama toprak üstü biyokütle ve karbon sonuçları, Karbiyosis'den ve diğer denklem setlerinden elde edilen ortalama toprak üstü biyokütle ve karbon değerleriyle kıyaslandığı zaman oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Bu da elde edilen sonuçlarda yanlışlamaya sebep olabilir. Hacim-1'den biyokütleye üretilen, 1. denklemden elde edilen ortalama toprak üstü biyokütle ve karbon sonuçları, Karbiyosis'den ve diğer denklem setlerinden elde edilen ortalama toprak üstü biyokütle ve karbon değerleri ile kıyaslandığında Karbiyosis'den elde edilen sonuçlarla en iyi uyumluluğu vermektedir.

Elde edilen bu sonuçların dışında ağaç taç çapları, yükseklikleri ve katı hacimleri de elde edilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. İHA verilerinden elde edilen taç çapları, yükseklik ve hacim değerleri

Ağaç no	Taç kısa çapı (m)	Taç uzun çapı (m)	Yükseklik (m)	nDSM VOLUME TOTAL (m ³)
1	2.471	2.936	3.301525	6.55
2	3.161	3.581	4.360941	12.843
3	1.75	2.446	3.08292	3.316
4	3.219	3.864	3.522926	14.888
5	2.745	3.361	3.88533	10.237
6	2.587	2.955	3.772968	9.912
7	2.7	2.84	4.013044	11.962
8	2.583	3.355	3.981842	11.501
9	2.501	2.678	3.675026	9.004
10	1.65	1.74	3.394896	2.938
11	1.897	2.646	3.614773	6.624
12	1.289	1.694	2.787672	1.634
13	2.56	3.116	3.743847	9.549

Çalışmada İHA verilerinde ağaçların taç çapları ve yüksekliklerinin fotogrametrik yöntemlerin uygulanması ve arazi verileri ile karşılaştırılması ile taç çapları için %91 korelasyon, yükseklik için ise %94 korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Yine İHA verilerinin işlenmesi ile elde edilen hacim değerleri ise ‘Expanded Paraboloid’ modelden üretilen hacim değerleri karşılaştırıldığı zaman %79 korelasyon olduğu belirlenmiş ve bu verilerin elde edilebilmesi için herhangi bir arazi çalışmasına gerek olmaksızın tespit edilebileceği belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. Hacim-1’den Hacim-4’e ve Hacim-1’den biyokütle yöntemleri ile elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerlerinin aritmetik ortalamaları

		TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLE (gr)	TOPRAK ÜSTÜ KARBON (gr)
KARBİYOSİS		38595.26876	17651.36439
HACİM1'DEN HACİM4'E	1.DENKLEM	32552.68059	15625.28668
	3.DENKLEM	37550.56923	18024.27323
HACİM1'DEN BİYOKÜTLEYE	1.DENKLEM	37151.90539	17832.91459
	3.DENKLEM	36839.78077	17683.09477

Çizelgede sırasıyla Karbiyosis, Hacim-1’den Hacim-4’e ve Hacim-1’den biyokütle yöntemleri ile elde edilen toprak üstü biyokütle ve karbon değerlerinin ortalamaları verilmiştir. Çalışmada belirlenen 1. ve 2. yöntem ile elde edilen ortalama değerleri, Karbiyosis’den elde edilen veriler ile kıyaslandığı zaman 1. yöntemde 3. denklem ve 2. yöntemde ise 1. yöntemin sonuçlarının daha yakın değerler verdiği

görülmektedir. KARBİYOSİS ile aralarında fark ise sırasıyla biyokütle için 1.044,69 gr ve 1.443,36 gr, karbon için ise 372,91 gr ve 181,55 gr'lık farklar oluşmaktadır. Bu farklar ise arazi çalışması esnasında oluşabilecek hatalardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca değerlerin, gram bazında alındığı düşünülürse oldukça küçük farklardır.

Sonuç olarak, İHA ile elde edilen görüntülere (Hacim-1), Hacim-1'den biyokütleye üretilen üstel denklem (Denklem I) uygulandığında, ilgili ağaçların toprak üstü biyokütle değeri (%90 doğruluk) ve buradan elde edilen değer FRA 2010 klavuzundaki ilgili katsayı ile çarpılarak (Denklem II) karbon tutum kapasitelerini yüksek doğrulukta (%86 doğruluk) elde edilebilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{I. } y_i &= 0.0101e^{0,137x_i} \\ \text{II. } \text{Toprak Üstü Karbon} &= (0.0101e^{0,137x_i}) \times 0,48 \end{aligned}$$

Çalışma sonuçları, bireysel ağaçlara ait toprak üstü biyokütle değerlerinin ve karbon tutabilme kapasitelerinin belirlenmesinde, İHA görüntülerinin, uzaktan algılama verilerinin ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojilerinin kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Çalışmadaki veriler doğrultusunda doğaya herhangi bir tahribat vermeden, yüksek doğrulukta, hızlı ve güvenilir bir şekilde ağaçların toprak üstü biyokütelleri, karbon tutabilme kapasiteleri ve bunların yanı sıra toprak altı biyokütle, karbon ve ölü odundaki karbon değerlerinin de tahmin edilebileceği tespit edilmiştir. Aynı veya benzer sonuçların arazi çalışmaları ile elde edilmesi için zaman, maliyet ve işgücünün oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Bunların dışında çalışmada ağaçların hacimleri tespit edilmiştir. Bu hacimler yaklaşık olarak bir değer vermektedir. Ağaçların gerçek hacimlerinin tespit edilmesi için ağacın tamamının daldırma kaplarına daldırılarak ölçülmesi gerekmektedir. Bu da oldukça zorlayıcı bir süreçtir. Her ne kadar uzaktan algılama ve CBS teknolojileri ile ağaçlara ait hacim, biyokütle ve karbon tutum kapasiteleri yüksek doğrulukta hesaplanmış olsa da yersel arazi çalışmaları, uygun teknikler ve tecrübeli işgücü ile daha yüksek doğruluk elde edilebileceği unutulmamalıdır. Uzaktan algılama teknolojileri, bu çalışma kapsamında zaman-maliyet ve işgücü dengesini maksimum seviyeye çıkararak yüksek doğruluk elde etmiştir.

Çalışmada, İHA verileri yerine uydu ve havadan LİDAR verileri de kullanılabilir. Ancak, yüksek çözünürlük için oldukça yüksek maliyet gerekmektedir. Yüksek çözünürlüklü veri ihtiyacı, ağaç taç alanlarının belirlenmesi ve bunlardan ağaçların hacimlerinin elde edilebilmesi için gereklidir. Buradaki çözünürlük ise çalışma yapılmak istenilen ağaçların taç çaplarına orantılı olarak belirlenebilir. Yani elde edilecek olan verinin, minimum çözünürlüğü çalışma yapılacak ağaçların minimumu kadar olmalıdır ki istenilen sonuçlara ulaşılabilsin. Havadan LİDAR verilerinin çözünürlüğü oldukça yüksek olsa da yine ekstra donanım ve maliyet gerektireceğinden sadece İHA ile elde edilen verilerin sonuçları da toprak üstü biyokütle ve karbon değerlerinin tahmini için yeterli ve uygun maliyetli olacaktır. Orman gölgelik yapısının modellenmesi, mevcut biyokütleyi ve karbon depolama miktarını tahmin etmek için İHA kullanımı uygun yöntemlerden biridir (García vd. 2018). Kanopi yapısı, lidarın (Wallace vd. 2012) yanı sıra, sıradan bir dijital kamera kullanılarak modellenenebilir (Lisein vd. 2013). LİDAR sensörleri, oldukça maliyetliken ve veri işleme yüksek vasıflı operatörler gerektirse de optik kameralar, çok daha ekonomiktir ve veri işleme, nispeten düşük eğitim seviyesine sahip operatörler tarafından kullanıcı dostu yazılımla yapılabilir (Wallace vd. 2016). İHA operasyonunun olumsuz tarafı ise, rüzgâr hızı, yağış, yakalanan görüntülerin kalitesi, ışık

ve atmosferik koşullardan etkilenebilir olmasıdır (Puliti vd. 2015). Ayrıca, İHA operasyonu (Avrupa’da) genellikle en azından üst irtifa uçuş seviyesinin sınırlandırılması ve uçuşları yalnızca görsel görüş hattı dâhilinde gerçekleştirme kuralı anlamına gelen, ulusal kurallarla düzenlenir. Dahası, İHA’nın ve üzerlerine monte edilen sensörlerin kullanımı, yeterli bilgi işlem ve depolama yetenekleri gerekliliğinin yanı sıra, veri toplama ve işleme konusunda özel uzmanlığa sahip personel ihtiyacı ile gelir. Dolayısıyla, yapılacak karbon ve biyokütle çalışmalarında, İHA’ların bu özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca 90°’lik eğim açısıyla İHA görüntülerinden elde edilen ağaç modellerinde, gövde modelinin net bir şekilde oluşturulmaması ise bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Bu durumun giderilebilmesi ve ağaç gövdelerinde net bir şekilde modellenmesi için ise İHA ile görüntü toplama aşamasında farklı eğim açıları veya farklı uçuş planlama teknikleri (spiral) ile elde edilen görüntüler üzerinden model oluşturularak test edilebilir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda elde edilen *Citrus aurantium* ağaçlarının toprak üstü biyokütle ve karbon tutabilme kapasitesi verilerine ulaşmak istenirken, İHA görüntüleri ile elde edilen ağaç yüksekleri ve taç çaplarından, gövde çaplarına geçiş için denklemler üretilerek, ağaçların kereste hacimleri belirlenebilir ve ticari amaçlı kullanımlarda arazi çalışmasına gerek kalmadan hesaplamalar yapılabilir. Bunların yanı sıra ağaçların yükseklik, taç çapları ve gövde çapları kullanılarak allometrik biyokütle denklemleri de üretilir. Üretilen bu denklemlerden ise ağaçların karbon tutabilme kapasiteleri elde edilebilir. Bunun yanında, Avrupa Yeşil Mutabakatının 2050 yılı karbon nötr hedeflerine ulaşılmasında, bu çalışma yöntemi kullanılarak hızlı bir şekilde karbon hesapları yapılabilir, ilgili hedeflere ulaşmada bu çalışma yol gösterici olabilir.

Bu çalışmanın en önemli çıktılarından bir tanesi de uygulanan yöntemin, bireysel olan tüm ağaçlarda uygulanabilir olmasıdır. Bu durum, çalışmanın yaygın etkisini ortaya koymaktadır.

Çalışmada, uygulanan metod doğrultusunda, İHA ile elde edilecek bireysel ağaç verileri ise daha geniş arazi çalışmalarına uyarlanabilir. Bu aşamada ise İHA’ların uçuş süresi göz önüne alınarak, geniş arazilerden, parçalar halinde verileri toplayıp, işlemek oldukça oyalayıcı ve maliyetli olabilir. Bu yüzden geniş alanlar için öncelikli olarak alandaki ağaç türleri belirlenerek, çalışmadaki metod (İHA görüntülerinden elde edilen bireysel ağaçların toprak üstü biyokütle tahmini ve karbon tutabilme kapasiteleri), tüm ağaç türlerine uygulanmalıdır. Daha sonra ise pratiklik ve maliyet düşürmek amaçlı yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine uyarlanarak kullanılabilir. Bu aşamada ise çalışması yapılacak alanın homojenliği en önemli faktörlerden biridir. Heterojen bir çalışma alanında ise yüksek çözünürlüklü multispetktral uydu görüntüleri kullanılmalıdır. Bunun sebebi ise çalışma alanındaki tüm ağaç türlerinin, net bir şekilde elde edilmesi. Ağaç türlerinin bu veriler üzerinden net bir şekilde elde edilebilmesi için ise, verilerin kontrollü sınıflandırma, farklı bitki örtüsü indeksleri ve taç şekillerinin belirlenebilmesi için geliştirilen algoritmalar kullanılmalıdır. Çalışmaların tamamı İHA ile yürütülecek olursa, ağaçların taç şekillerinin, türlerinin ve modellerinin net bir şekilde ayırt edilebilmesi için İHA’lara entegre edilen multispektral kameralar gibi faydalı yüklerden yararlanılmalıdır.

Yalnızca ağaçların karbon emisyonunu azaltmasını beklemek doğru bir yaklaşım

değildir, bundan dolayı ağaç sayısının artırılmasının yanı sıra enerji tüketiminin azaltılması, üretim ve tüketim ihtiyaçlarının bu açıdan değiştirilmesi ve insanların küresel ısınmayla nasıl mücadele edileceği konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, İHA görüntüleri kullanılarak bireysel ağaçlara yönelik hacim, biyokütle ve karbon tutum tahminleri yüksek doğrulukta elde edilmiştir. Bu çalışma, uzaktan algılama teknolojilerinin küresel iklim değişikliği kapsamında, önemli bir veri olan karbon hesabının yapılabilmesinde, kullanılabilir ve uygulanabilir olduğunu doğrulayarak, bu alanlarda yapılacak her çalışma için altlık teşkil edebilecektir.

Dünya üzerinden tespit edilen en önemli karbon yutakları okyanuslar, topraklar ve ağaçlardan oluşmaktadır. Küresel ısınmayla mücadelede insanlar, karbon emisyonlarını azaltmaya çalışırken aynı zamanda yutakları genişletmeye de çalışmalıdır. Okyanus ve toprak alanları insanlar tarafından artırılmamaktadır. Bu yüzden karbon yutaklarının artırılması, yeşil örtünün hacimsel olarak artırılması ile mümkündür. Yapılan bu çalışma öncülüğü ile ülkemiz ve dünya genelindeki ağaçların, karbon tutabilme kapasiteleri hesaplanıp, coğrafi bilgi sistemlerinden destek alınarak en kısa sürede, homojen ve uygun konumlardan ağaçlandırma çalışmaları başlatılabilir.

6. KAYNAKLAR

- A European Green Deal 2019. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en [Son erişim tarihi: 24.05.2022]
- Agbelade, A. D., and Onyekwelu, J. C. 2020. Tree species diversity, volume yield, biomass and carbon sequestration in urban forests in two Nigerian cities. *Urban Ecosystems*, 23(5), 957-970.
- Alemdağ I.S. 1981. Aboveground-Mass Equations For Six Hardwood Species From Natural Stands Of The Research Forest At Petawawa [Canada]. Information Report Petawawa National Forestry Institute, Canada.
- Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., and Zumbrunnen, C. 2003. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience*, 53(12), 1169-1179.
- Angel, S., Sheppard, S., Civco, D. L., Buckley, R., Chabaeva, A., Gitlin, L., and Perlin, M. 2005. *The dynamics of global urban expansion* (p. 205). Washington, DC: World Bank, Transport and Urban Development Department.
- Asrat, Z., Eid, T., Gobakken, T., and Negash, M. 2020. Aboveground tree biomass prediction options for the Dry Afromontane forests in south-central Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 473, 118335.
- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*, 47(2), 151-163.
- Betancourt, M., Reyes, N., Vázquez, D., Dufoo, M. D., García, M. E., and Álvarez, A. 2014. First quantitative estimates of carbon retention by citrus groves under Cuba's conditions. *American Journal of Climate Change*, 2014.
- Boyd D.S., Foody G.M., Curran P.J., 1999. The relationship between the biomass of Cameroonian tropical forests and radiation reflected in middle infrared wavelengths (3.0–5.0 μm), *International Journal of Remote Sensing*, 20:1017–1023.
- Breidenbach, J., Antón-Fernández, C., Petersson, H., McRoberts, R. E., and Astrup, R. 2014. Quantifying the model-related variability of biomass stock and change estimates in the Norwegian National Forest Inventory. *Forest Science*, 60(1), 25-33.
- Buyantuyev, A., and Wu, J. 2009. Urbanization alters spatiotemporal patterns of ecosystem primary production: A case study of the Phoenix metropolitan region, USA. *Journal of Arid Environments*, 73(4-5), 512-520.
- Calkins, H. W., and Tomlinson, R. F. 1977. *Geographic Information Systems: Methods and Equipment for Land Use Planning*. Ottawa, Canada: International Geographical Union, Commission of Geographical Data Sensing and Processing and U.S.Geological Survey.
- Churkina, G. 2008. Modeling the carbon cycle of urban systems. *ecological modelling*, 216(2), 107-113.
- Coder, K. D. (2000). Tree biomechanics series. *University of Georgia School of Forest Resources Extension Publications FOR00-13 to, 32*.

- Cox, H. M. 2012. A sustainability initiative to quantify carbon sequestration by campus trees. *Journal of Geography*, 111(5), 173-183.
- Clark, D. B., and Kellner, J. R. 2012. Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *Journal of Vegetation Science*, 23(6), 1191-1196.
- Çakmak, B. ve Gökalp, Z. 2011. İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 4(1), 87-95.
- Çömez, A., ve Tolunay, D. 2006. Sündiken dağlarında sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde karbon birikiminin belirlenmesi. *İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., and Hansen, M. 2010. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178-181.
- Drake J., Dubayah R. O., Knox R. G., Clark D. B., Blair J. B., 2002. Sensitivity of Large-footprint Lidar to Canopy Structure and Biomass in a Neotropical Rainforest, *Remote Sensing of Environment* 81(2-3): 378–92.
- Dubayah R. O., Drake J. B., 2000. Lidar Remote Sensing for Forestry Applications, *Journal of Forestry* 98(6): 44–46.
- Duncanson L.I., Niemann K.O., Wulder M. A., 2010. Estimating Forest Canopy Height and Terrain Relief from GLAS Waveform Metrics, *Remote Sensing of Environment* 114(1): 138–54.
- Durkaya, B. ve Durkaya, A. 2008. Türkiye toprak üstü tek ağaç ve meşcere biyokütle tabloları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10 (13): 1-10.
- Durkaya, B., Durkaya, A., Makineci, E. ve Ülküdür, M. 2013. Estimation of aboveground biomass and sequestered carbon of Taurus Cedar (*Cedrus libani* L.) in Antalya, Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6 (5): 278.
- Durkaya, A., Durkaya, B. ve Say, S.U. 2016. Below-and above ground biomass distribution of young Scots pines from plantations and natural stands. *Bosque*, 37 (3): 509-518.
- Erkan, N. 2002. Regresyon analizi ve ormancılıkta kullanımı. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 52, 1, 58-76 s. İstanbul.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... and Snyder, P. K. 2005. Global consequences of land use. *science*, 309(5734), 570-574.
- Foody G. M., Cutler M. E., Mcmorrow J., Pelz D., Tangki H., Boyd D. S., Douglas I., 2001. Mapping the Biomass of Bornean Tropical Rain Forest from Remotely Sensed Data, *Global Ecology and Biogeography* 10.4 (2001): 379-387.
- FRA (2010). Country Report, Turkey, pp.37-39
- Franklin J., 1986. Thematic Mapper analysis of coniferous forest structure and composition *International Journal of Remote Sensing* 7, 1287–1301.
- García, M., Saatchi, S., Ustin, S., and Balzter, H. 2018. Modelling forest canopy height by integrating airborne LiDAR samples with satellite Radar and multispectral imagery. *International journal of applied earth observation and geoinformation*,

66, 159-173.

- Ghasemi N., Sahebi M. R., Mohammadzadeh A., 2011. A Review on Biomass Estimation Methods Using Synthetic Aperture Radar, *International Journal of Geomatics and Geosciences* 1(4): 776–88.
- Ghosh, S. M., and Behera, M. D. 2018. Aboveground biomass estimation using multi-sensor data synergy and machine learning algorithms in a dense tropical forest. *Applied Geography*, 96, 29-40.
- Goetz, S. J., Smith, A. J., Jantz, C., Wright, R. K., Prince, S. D., Mazzacato, M. E., and Melchior, B. 2003. Monitoring and predicting urban land use change. In *Proc. IEEE International, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'03* (Vol. 3, pp. 1567-1569).
- Golubiewski, N. E. 2006. Urbanization increases grassland carbon pools: Effects of landscaping in Colorado's front range. *Ecological Applications*, 16(2), 555-571.
- González-Jaramillo, V., Fries, A., and Bendix, J. 2019. AGB estimation in a tropical mountain forest (TMF) by means of RGB and multispectral images using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 11(12), 1413.
- Goodchild, M. F. 1985 Geographical information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma. *The Operational Geographer* 8: 34–8
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., and Penman, J. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7(3), 220-226.
- GTOS (Global Terrestrial Observing System), 2009. Biomass - Assessment of the Status of the Development of the Standards for the Terrestrial Essential Climate Variables.
- Günlü, A., Kadioğulları, A. I., Keleş, S., and Başkent, E. Z. 2009. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to deforestation in Northeastern Turkey: a case study in Rize. *Environmental monitoring and assessment*, 148(1), 127-137.
- Haase, D. 2009. Effects of urbanisation on the water balance—A long-term trajectory. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(4), 211-219.
- Harding D. J., Lefsky M. A., Parker G. G., Blair J. B., 2001. Laser Altimeter Canopy Height Profiles Methods and Validation for Closed-canopy, Broadleaf Forests, *Remote Sensing of Environment* 76: 283-297.
- Hayavadana, J. 2012. 7 - Linear regression, *Statistics for Textile and Apparel Management*. Woodhead Publishing, India, pp. 170-192.
- Hayavadana, J. 2012. 6 - Correlation, *Statistics for Textile and Apparel Management*. Woodhead Publishing, India, pp. 148-169.
- Huete A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295- 309.
- Hutyra, L. R., Yoon, B., Hepinstall-Cymerman, J., and Alberti, M. 2011. Carbon consequences of land cover change and expansion of urban lands: A case study in the Seattle metropolitan region. *Landscape and urban planning*, 103(1), 83-93.

- Imhoff, M. L., Bounoua, L., DeFries, R., Lawrence, W. T., Stutzer, D., Tucker, C. J., and Ricketts, T. 2004. The consequences of urban land transformation on net primary productivity in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 434-443.
- Imhoff M. L., Johnson P., Holford W., Hyer J., May L., Lawrence W., Harcombe P., 2000. BioSAR: An Inexpensive Airborne VHF Multiband SAR System for Vegetation Biomass Measurement, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 38(3): 1458–62.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge-New York, 1000
- Jaman, S., Zhang, X., and Islam, F. 2020. Carbon storage and tree diversity in the urban vegetation of Dhaka city, Bangladesh: a study based on intensive field investigation. *Arboricultural Journal*, 42(2), 76-92.
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., ... and Byrne, K. A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?. *Geoderma*, 137(3-4), 253-268.
- Jobbágy, E. G., and Jackson, R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, 10(2), 423-436.
- Joshi, P. K., Kumar, M., Paliwal, A., Midha, N., and Dash, P. P. 2009. Assessing impact of industrialization in terms of LULC in a dry tropical region (Chhattisgarh), India using remote sensing data and GIS over a period of 30 years. *Environmental monitoring and assessment*, 149(1), 371-376.
- Karadağ, E. 2016. Harran Ovası Topraklarında Organik Karbon Stoğunun Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniği ile Haritalanması. Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 13s.
- Karlson, M., Ostwald, M., Reese, H., Sanou, J., Tankoano, B., and Mattsson, E. 2015. Mapping tree canopy cover and aboveground biomass in Sudano-Sahelian woodlands using Landsat 8 and random forest. *Remote Sensing*, 7(8), 10017-10041.
- Kasischke E. S., Melack J. M., Dobson M. C., 1997. The Use of Imaging Radars for Ecological applications—A Review, *Remote Sensing of Environment* 59: 141–56.
- Ketterings, M., Coe, R., Noordwijk, M. ve Palm, A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and management*, 146 (1-3): 199-209.
- Kocaman, M. 2019. *Aladağ-Demirciler plan ünitesinin karbon depolama kapasitesinin incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, 46s.
- Konecny, G. 2014. Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographical information systems. cRc Press, second edition.
- Koch B., 2010. Status and Future of Laser Scanning, Synthetic Aperture Radar and Hyperspectral Remote Sensing Data for Forest Biomass Assessment, ISPRS

- Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65(6): 581–90.
- Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Jamsranjav, B., Fukuda, M., and Troxler, T. 2014. *2013 Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol* (p. 148). T. Hiraishi (Ed.). Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lefsky M. A., Cohen W. B., Parker G. G., Harding D. J., 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies, *Bioscience* 52(1): 19–30.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature*, 447(7141), 143-144.
- Lehmann, A., and Stahr, K. 2007. Nature and significance of anthropogenic urban soils. *Journal of Soils and Sediments*, 7(4), 247-260.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W., 2007. Remote sensing and image interpretation. 6th Edition, John Wiley and Sons: New York.
- Lin, J., Wang, M., Ma, M., and Lin, Y. 2018. Aboveground tree biomass estimation of sparse subalpine coniferous forest with UAV oblique photography. *Remote Sensing*, 10(11), 1849.
- Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., and Lejeune, P. 2013. A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery. *Forests*, 4(4), 922-944.
- Liu, J., Liu, S., and Loveland, T. R. 2006. Temporal evolution of carbon budgets of the Appalachian forests in the US from 1972 to 2000. *Forest Ecology and Management*, 222(1-3), 191-201.
- Lu D., 2006. The Potential and Challenge of Remote Sensing Based Biomass Estimation, *International Journal of Remote Sensing* 27(7): 1297–1328.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., 2002. Aboveground biomass estimation of successional and mature forests using TM images in the Amazon basin, *Advances in Spatial Data Handling* (D. Richardson and P. van Oosterom, editors), Springer-Verlag, New York, 183–196.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., 2004. Relationships Between Forest Stand Parameters and Landsat TM Spectral Responses in the Brazilian Amazon Basin, *Forest Ecology and Management* 198(1-3): 149–67.
- Luck, M., and Wu, J. 2002. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape ecology*, 17(4), 327-339.
- Magnussen, S., and Negrete, O. I. C. 2015. Model errors in tree biomass estimates computed with an approximation to a missing covariance matrix. *Carbon balance and management*, 10(1), 1-14.
- Makowsky, L., and Meuser, H. 2007. Quantification of carbon content in soils from abandoned contaminated land dominated by technogenic substrates. *Altlasten spektrum*, 2(2007), 53-60.
- Martin, B. A., Shao, G., Swihart, R. K., Parker, G. R., and Tang, L. 2008. Implications of shared edge length between land cover types for landscape quality: the case of Midwestern US, 1940–1998. *Landscape Ecology*, 23(4), 391-402.

- Martin, J.G., Kloeppel, B.D., Schaefer, T.L., Kimbler, D.L. ve McNulty, S.G. 1998. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 28 (11): 1648-1659.
- Meuser, H. 2010. *Contaminated urban soils* (Vol. 18). Springer Science and Business Media.
- McPherson, G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Maco, S. E., and Xiao, Q. 2005. Municipal forest benefits and costs in five US cities. *Journal of forestry*, 103(8), 411-416.
- McRoberts, R. E., and Westfall, J. A. 2014. Effects of uncertainty in model predictions of individual tree volume on large area volume estimates. *Forest Science*, 60(1), 34-42.
- Milne A. K., Dong Y., 2002. Vegetation Mapping Using JERS-1 SAR Mosaic for Northern Australia, *International Journal of Remote Sensing* 23(7): 1475–86.
- Morel, J. L., Chenu, C., and Lorenz, K. 2015. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of soils and sediments*, 15(8), 1659-1666.
- Moundounga M., Q., Ngomanda, A., Engone Obiang, N. L., Lebamba, J., Gomat, H., Mankou, G. S., ... and Picard, N. 2014. How to improve allometric equations to estimate forest biomass stocks? Some hints from a central African forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(7), 685-691.
- Moussa, M., and Mahamane, L. 2018. Allometric models for estimating aboveground biomass and carbon in *Faidherbia albida* and *Prosopis africana* under agroforestry parklands in drylands of Niger. *Journal of Forestry Research*, 29(6), 1703-1717.
- Mukuralinda, A., Kuyah, S., Ruzibiza, M., Ndoli, A., Nabahungu, N. L., and Muthuri, C. 2021. Allometric equations, wood density and partitioning of aboveground biomass in the arboretum of Ruhande, Rwanda. *Trees, Forests and People*, 3, 100050.
- Naesset, E., Ørka, H. O., Solberg, S., Bollandsås, O. M., Hansen, E. H., Mauya, E., ... and Gobakken, T. 2016. Mapping and estimating forest area and aboveground biomass in miombo woodlands in Tanzania using data from airborne laser scanning, TanDEM-X, RapidEye, and global forest maps: A comparison of estimated precision. *Remote sensing of Environment*, 175, 282-300.
- Navarro, J. A., Algeet, N., Fernández-Landa, A., Esteban, J., Rodríguez-Noriega, P., and Guillén-Climent, M. L. 2019. Integration of UAV, Sentinel-1, and Sentinel-2 data for mangrove plantation aboveground biomass monitoring in Senegal. *Remote Sensing*, 11(1), 77.
- Nelson R., Kimes D.S., Salas W.A., Routhier M., 2000. Secondary forest age and tropical forest biomass estimation using Thematic Mapper imagery, *Bioscience*, 50:419–431.
- Noormets, A., Epron, D., Domec, J. C., McNulty, S. G., Fox, T., Sun, G., and King, J. S. 2015. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. *Forest Ecology and Management*, 355, 124-140.
- Nowak, D. J., and Crane, D. E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in

- the USA. *Environmental pollution*, 116(3), 381-389.
- Nowak, D. J., and Greenfield, E. J. 2012. Tree and impervious cover change in US cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(1), 21-30.
- Ota, T., Ahmed, O. S., Minn, S. T., Khai, T. C., Mizoue, N., and Yoshida, S. 2019. Estimating selective logging impacts on aboveground biomass in tropical forests using digital aerial photography obtained before and after a logging event from an unmanned aerial vehicle. *Forest Ecology and Management*, 433, 162-169.
- Otero, V., Van De Kerchove, R., Satyanarayana, B., Martínez-Espinosa, C., Fisol, M. A. B., Ibrahim, M. R. B., and Dahdouh-Guebas, F. 2018. Managing mangrove forests from the sky: Forest inventory using field data and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery in the Matang Mangrove Forest Reserve, peninsular Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 411, 35-45.
- Öztürk, K. 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Pan, C., Li, C. ve Gao, H. 1980. Biomass and nutrient elements distribution of two different forest types of Chinese fir. *Hunan For Sci Technol*, 4: 1-14.
- Pinty B., Verstraete M. M., 1992. GEMI: a Non-linear Index to Monitor Global Vegetation from Satellites, *Plant Ecology* 101.1 (1992): 15-20.
- Popescu, S. C. 2007. Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass and Bioenergy*, 31(9), 646-655.
- Potere, D., and Schneider, A. 2007. A critical look at representations of urban areas in global maps. *GeoJournal*, 69(1), 55-80.
- Pouyat, R., Groffman, P., Yesilonis, I., and Hernandez, L. 2002. Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. *Environmental pollution*, 116, S107-S118.
- Puliti, S., Ørka, H. O., Gobakken, T., and Næsset, E. 2015. Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sensing*, 7(8), 9632-9654.
- Qi J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y. H., Sorooshian S., 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index, *Remote Sensing of Environment* 48.2 (1994): 119-126.
- Raciti, S. M., Groffman, P. M., Jenkins, J. C., Pouyat, R. V., Fahey, T. J., Pickett, S. T., and Cadenasso, M. L. 2011. Accumulation of carbon and nitrogen in residential soils with different land-use histories. *Ecosystems*, 14(2), 287-297.
- Raciti, S. M., Huttyra, L., Rao, P., and Finzi, A. C. 2011. Soil and vegetation carbon in urban ecosystems: The importance of urban definition and scale. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2011, pp. B43B-0297).
- Raciti, S. M., Huttyra, L. R., and Newell, J. D. 2014. Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods. *Science of the Total Environment*, 500, 72-83.
- Rees, G., 1999, *The Remote Sensing Data Book*. Cambridge University Press
- Richardson A. J., Wiegand C. L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background

- information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43:1541-1552.
- Richter, S., Haase, D., Thestorf, K., and Makki, M. 2020. Carbon pools of Berlin, Germany: organic carbon in soils and aboveground in trees. *Urban Forestry and Urban Greening*, 54, 126777.
- Robinson, C., Saatchi, S., Neumann, M., and Gillespie, T. 2013. Impacts of spatial variability on aboveground biomass estimation from L-band radar in a temperate forest. *Remote Sensing*, 5(3), 1001-1023.
- Robinson, D. T., Brown, D. G., and Currie, W. S. 2009. Modelling carbon storage in highly fragmented and human-dominated landscapes: linking land-cover patterns and ecosystem models. *Ecological Modelling*, 220(9-10), 1325-1338.
- Rosette J., Suárez J., Nelson R., Los S., Cook B., North P., 2012. Lidar Remote Sensing for Biomass Assessment, In *Remote Sensing of Biomass - Principles and Applications*, eds. Temilola Fatoyinbo, 3–27.
- Roy P.S., Ravan S.A., 1996. Biomass estimation using satellite remote sensing data – an investigation on possible approaches for natural forest, *Journal of Bioscience*, 21:535–561.
- Saatchi S. S., Houghton R. A., Dos Santos Alvalá R. C., Soares J. V., Yu Y., 2007. Distribution of Aboveground Live Biomass in the Amazon Basin, *Global Change Biology* 13(4): 816–37.
- Sabins, Floyd F., Jr., 1978, *Remote sensing principles and interpretation*: San Francisco, W.H. Freeman and Co., 426
- Sader S.A., Waide R.B., Lawrence W.T., Joyce A.T., 1989. Tropical forest biomass and successional age class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data, *Remote Sensing of Environment*, 28:143–156.
- Sadik, N. 1999. Meeting the urban population challenge. *City Development Strategies*, 1, 16-23.
- Sahoo, U. K., Nath, A. J., and Lalnunpuui, K. 2021. Biomass estimation models, biomass storage and ecosystem carbon stock in sweet orange orchards: Implications for land use management. *Acta Ecologica Sinica*, 41(1), 57-63.
- Sanquetta, C. R., Wojciechowski, J., Dalla Corte, A. P., Rodrigues, A. L., and Maas, G. C. B. 2013. On the use of data mining for estimating carbon storage in the trees. *Carbon balance and management*, 8(1), 1-9.
- Saraçoğlu, N. 2008. Biyokütleden enerji üretiminde enerji ormancılığının önemi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-21.
- Saraçoğlu, N. 1990 Construction of Biomass Tables in Turkey. IUFRO XIX th World Congress, Canada, Division:1, Volume:2, 2, 422, Montreal.
- Saraçoğlu, N. 1998. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) biyokütle tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22: 93-100.
- Sayan, M. 2001. Antalya'nın Doğal ve Kültürel Peyzaj Özelliklerine Genel Bir Bakış. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 57-67.
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., and Reilly, M. K. 2011. A meta-analysis of global

- urban land expansion. *PloS one*, 6(8), e23777.
- Seto, K. C., Güneralp, B., and Hutya, L. R. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083-16088.
- Sexton J., Bax T., Siqueira P., Swenson J., Hensley S. 2009. A Comparison of Lidar, Radar, and Field Measurements of Canopy Height in Pine and Hardwood Forests of Southeastern North America, *Forest Ecology and Management* 257(3): 1136–47.
- Scharenbroch, B. C. 2012. Urban trees for carbon sequestration. In *Carbon sequestration in urban ecosystems* (pp. 121-138). Springer, Dordrecht.
- Schneider, A., Friedl, M. A., and Potere, D. 2010. Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on ‘urban ecoregions’. *Remote sensing of environment*, 114(8), 1733-1746.
- Shi, L. ve Liu, S. 2017. Methods of estimating forest biomass: A review. *Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy*, 18: 23.
- Shishlov, I., Morel, R., and Bellassen, V. 2016. Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period. *Climate Policy*, 16(6), 768-782.
- Simard M., Rivera-Monroy V. H., Mancera-Pineda J. E., Castañeda-Moya E., Twilley R. R., 2008. A Systematic Method for 3D Mapping of Mangrove Forests Based on Shuttle Radar Topography Mission Elevation Data, ICESat/GLAS Waveforms and Field Data: Application to Ciénaga Grande De Santa Marta, Colombia, *Remote Sensing of Environment* 112(5): 2131–44.
- Steininger M. K., 2000. Satellite estimation of tropical secondary forest aboveground biomass data from Brazil and Bolivia, *International Journal of Remote Sensing*, 21:1139–1157.
- Storm, K. 2019. Chapter 1 - Introduction to construction statistics using Excel, *Industrial Process Plant Construction Estimating and Man-Hour Analysis*. Gulf Professional Publishing, pp. 1-21.
- Strohbach, M. W., and Haase, D. 2012. Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104(1), 95-104.
- Sun G., Ranson K. J., Kharuk V. I., 2002. Radiometric Slope Correction for Forest Biomass Estimation from SAR Data in the Western Sayani Mountains, Siberia, *Remote Sensing of Environment* 79(2- 3): 279–87.
- Sun, O., Uğurlu, S. ve Özer, E. 1980. Kızılçam (Pinus Brutia Ten) Türüne Ait Biyolojik Kütlenin Saptanması, OAE Yayınları, Teknik Bülten Serisi, Ankara, s. 32.
- Ter-Mikaelian, T. ve Korzukhin, D. 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 97 (1): 1-24.
- Torun, A. 2017. İnsansız hava aracı (İHA) sektörü ve İHA fotogrametrisinin ölçme bağlamında konumlandırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 3-6.
- Treitz P. M., Howarth P. J.. 1999. Hyperspectral Remote Sensing for Estimating

- Biophysical Parameters of Forest Ecosystems, *Progress in Physical Geography* 23(3): 359–90.
- Tuğluer, M. 2019 Bazı kent ağaçlarının biyokütle ve karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 142 s.
- Tuğluer, M., Gül, A. ve Akkuş, F.G., 2021. Kentsel yol ağaçları envanteri ve karbon tutma kapasitesinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 516-535, Türkiye.
- Uğurlu, S. 1976. Stepe gecis yorelerindeki sarıçam mescerelerinde biyolojik kutlenin saptanması. Determination of biomass in Scotch pine stands growing in the transition zone to semi-arid.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., and Turner, D. 2012. Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. *Remote sensing*, 4(6), 1519-1543.
- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D., and Vopěnka, P. 2016. Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7(3), 62.
- Van Vinh, T., Marchand, C., Linh, T. V. K., Vinh, D. D., and Allenbach, M. 2019. Allometric models to estimate above-ground biomass and carbon stocks in *Rhizophora apiculata* tropical managed mangrove forests (Southern Viet Nam). *Forest Ecology and Management*, 434, 131-141.
- Velasco, E., and Chen, K. W. 2019. Carbon storage estimation of tropical urban trees by an improved allometric model for aboveground biomass based on terrestrial laser scanning. *Urban Forestry and Urban Greening*, 44, 126387.
- Velázquez-Martí, B., Estornell, J., López-Cortés, I., and Martí-Gavilá, J. 2012. Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry. *Biosystems Engineering*, 112(4), 285-292.
- Vasenev, V., and Kuzyakov, Y. 2018. Urban soils as hot spots of anthropogenic carbon accumulation: Review of stocks, mechanisms and driving factors. *Land Degradation and Development*, 29(6), 1607-1622.
- Vasenev, V. I., Stoorvogel, J. J., Dolgikh, A. V., Ananyeva, N. D., Ivashchenko, K. V., and Valentini, R. 2017. Changes in soil organic carbon stocks by urbanization. *Urban Soils*, 61-92.
- Vogt, J. M., Watkins, S. L., Mincey, S. K., Patterson, M. S., and Fischer, B. C. 2015. Explaining planted-tree survival and growth in urban neighborhoods: A social-ecological approach to studying recently-planted trees in Indianapolis. *Landscape and Urban Planning*, 136, 130-143.
- Xie, C., and Yang, C. 2020. A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105731.
- Xing Y., Gier A. D., Zhang J., Wang L. 2010. An Improved Method for Estimating Forest Canopy Height Using ICESat-GLAS Full Waveform Data over Sloping Terrain: A Case Study in Changbai Mountains, China, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12(5): 385–92.

- Yasin, G., Farrakh Nawaz, M., Zubair, M., Qadir, I., Saleem, A. R., Ijaz, M., and Du, Z. 2021. Assessing the Contribution of Citrus Orchards in Climate Change Mitigation through Carbon Sequestration in Sargodha District, Pakistan. *Sustainability*, 13(22), 12412.
- Yavaşlı, D. 2013. Recent Approaches In Above Ground Biomass Estimation Methods *Aegean Geographical Journal*, 21(1), 39-51, İzmir
- Yılmaz, F. 2008. Antalya'nın günlük yağış özellikleri ve şiddetli yağışların doğal afetler üzerine etkisi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 20.
- Yılmaz, S. 2015. Antalya Yöresi Aynı Yaşlı Saf Kızılçam Meşcerelerinde Toprak Üstü Biyokütlenin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, 60s.
- Zhou, W., and Troy, A. 2008. An object- oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level. *International Journal of Remote Sensing*, 29(11), 3119-3135.
- Washbourne, C. L., Renforth, P., and Manning, D. A. C. 2012. Investigating carbonate formation in urban soils as a method for capture and storage of atmospheric carbon. *Science of the total environment*, 431, 166-175.
- Wang, D., Xin, X., Shao, Q., Broly, M., Zhu, Z., and Chen, J. 2017. Modeling aboveground biomass in Hulunber grassland ecosystem by using unmanned aerial vehicle discrete lidar. *Sensors*, 17(1), 180.
- Węgiel, A., and Polowy, K. 2020. Aboveground carbon content and storage in mature Scots pine stands of different densities. *Forests*, 11(2), 240.
- Weng, Q. 2010. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications: Theory, Methods, and Applications. McGraw-Hill Companies.
- Wilby, R. L., and Perry, G. L. 2006. Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. *Progress in physical geography*, 30(1), 73-98.
- Wulder M., 1998. Optical Remote-sensing Techniques for the Assessment of Forest Inventory and Biophysical Parameters, *Progress in Physical Geography* 22(4): 449–76.
- Wu, X., Shen, X., Cao, L., Wang, G., and Cao, F. 2019. Assessment of individual tree detection and canopy cover estimation using unmanned aerial vehicle based light detection and ranging (UAV-LiDAR) data in planted forests. *Remote Sensing*, 11(8), 908.

ÖZGEÇMİŞ

AYŞENUR AKPINAR

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2020-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri Ve Teknolojileri, Antalya
Önlisans 2018-2021	Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Veri giriş elemanı (Ofis) 2020 (2 ay)	GEOTECMAPS Bilgi Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi
Veri giriş elemanı (Saha) 2019-2020	GEOTECMAPS Bilgi Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi