T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

DURUSU KUMUL AĞAÇLANDIRMASINDA TOPRAKTAKİ ORGANİK KARBON MİKTARININ TAHMİNİNDE BAZI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Alper Gün ÖZTURNA

DANIŞMAN
Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Alper Gün ÖZTURNA tarafından, **Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY** danışmanlığında hazırlanan **"DURUSU KUMUL AĞAÇLANDIRMASINDA TOPRAKTAKİ ORGANİK KARBON MİKTARININ TAHMİNİNDE BAZI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **24/06/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ender MAKİNECİ Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Oktay YILDIZ Düzce Üniversitesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Yasin KARATEPE Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Emrah ÖZDEMİR Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Hasılatı ve Biyometri Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Frank Herbert’a ithaf edilmiştir.

BÜTÇE DESTEKLERİ

DURUSU KUMUL AĞAÇLANDIRMASINDA TOPRAKTAKİ ORGANİK KARBON MİKTARININ TAHMİNİNDE BAZI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu doktora tezi çalışması TÜBİTAK TOVAG 114O797 numaralı proje ve İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 24394 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, tezin çıkmaza girdiğini düşündüğüm anlarda yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada verilerinden yararlandığım "İstanbul-Durusu kumul alanlarındaki sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ve fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) ağaçlandırmalarında karbon birikimi" başlıklı ve TÜBİTAK-TOVAG tarafından desteklenen 114O797 nolu projede görev alan başta Prof. Dr. Ender MAKİNECİ olmak üzere, Abbas ŞAHİN ve Musalam Mohammed ABDALMOULA'ya arazi çalışmalarıma destekleri için müteşekkirim.

Doktora tezinde test edilen FBDC modeli konusunda Kore'de yaptığım çalışmaları TÜBİTAK 2214-A programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a, Kore'de danışmanlığımı üstlenen Prof. Dr. Yowhan SON ve ekibine, arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Doç. Dr. Serdar AKBURAK'a ve Arş. Gör. Dr. Servet PEHLİVAN'a, değerli fikir ve tavsiyelerini esirgemediği için Prof. Dr. Orhan SEVGİ'ye teşekkür ederim. Dr. Öğr. Üyesi Fatma Diğdem TUNCER ve Arş. Gör. Sedanur ŞEKER'e desteklerinden dolayı minnettarım. İÜ-C Orman Fakültesi ahşap atölyesi çalışanlarına, başta Öner ÖNAL olmak üzere emeklerinden dolayı saygılarımı sunarım. Stephen Kull ve Werner A. KURZ'a bu çalışmada kullanılan modeller konusunda yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Uzun ve yorucu tez sürecinde her zaman yanımda olan annem Z. Gülçin ÖZTURNA'ya, babam İsmet ÖZTURNA'ya ve eşim Sayıl YILMAZ ÖZTURNA'ya teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2022 **Alper Gün ÖZTURNA**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ 1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE 6
2.1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ 6
2.2. SERA GAZI SALIMLARI 9
2.2.1. Küresel Sera Gazı Salımları 9
2.2.2. Türkiye'nin Sera Gazı Salımları 10
2.3. KARBON DÖNGÜSÜ 11
2.4. ORMANLAR VE KARBON 14
2.5. TOPRAKLAR VE KARBON 17
2.6. ORMAN TOPRAKLARINDAKİ ORGANİK KARBON MİKTARLARINI BELİRLEME VE TAHMİN YÖNTEMLERİ 21
2.6.1. TOPRAK ORGANİK KARBONUNU BELİRLEME YÖNTEMLERİ 22
2.6.2. TOPRAK ORGANİK KARBONUNU TAHMİN ETME YÖNTEMLERİ VE MODEL KAVRAMI 23
2.7. KUMUL EKOSİSTEMLERİ VE KUMUL AĞAÇLANDIRMALARI 29
3. YÖNTEM 37
3.1. ARAŞTIRMA ALANININ TANITIMI 37
3.1.1. Mevkii Özellikleri 37
3.1.2. İklim Özellikleri 38
3.1.3. Anakaya ve Toprak Özellikleri 40
3.1.4. Bitki Örtüsü 41
3.2. KULLANILAN YÖNTEM VE MODELLERİN TANITIMI 44
3.2.1. CBM-CFS3 Modeli 44
3.2.2. FBDC Modeli 51
3.3. KULLANILAN MODELLERE AİT VERİLER 54
3.3.1. Varsayılan Girdiler 54
3.3.2. Örnek Alanlar ve Genel Meşcere Özellikleri 56
3.3.3. Hacim ve Bitkisel Kütle Verileri 56

3.3.4. Büyüme Çarpanları 61
3.3.5. Meşcerelere Dair Karbon Verileri 61
3.3.6. Dökülme Miktar ve Oranları 62
3.3.7. Ayrışma Oranları 64
3.3.8. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri 68
3.3.9. Model Girdilerinin Aktarımı 69
3.3.10. Model Çıktılarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi 71
4. BULGULAR 74
4.1. ÖRNEK ALAN VERİLERİ 74
4.1.1. Hacim ve Bitkisel Kütle Verileri 74
4.1.2. Ölü Örtü Dökümü ve Bitkisel Kütle Ayrışma Oranları 76
4.2. MODEL GİRDİLERİ 79
4.2.1. Hacim Tahmininde Kullanılan Katsayılar 79
4.2.2. Bitkisel Kütle Katsayıları ve Büyüme Çarpanları 80
4.2.3. Dökülme Oranları 82
4.2.4. Ayrışma Oranları 82
4.3. MODEL ÇIKTILARI 83
4.3.1. Toplam Bitkisel Kütle Havuzundaki Organik Karbon Miktarları 83
4.3.2. Ölü Örtü Havuzundaki Organik Karbon Miktarları 89
4.3.3. Ölü Odun Havuzundaki Organik Karbon 95
4.3.4. Toprak Havuzundaki Organik Karbon 101
4.3.5. Toplam Ekosistem Havuzundaki Organik Karbon 106
4.3.6. Toprak Organik Karbon Havuzundaki Yıllık Değişimler 111
5. TARTIŞMA 115
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 127
7. KAYNAKLAR 130
8. EKLER 144

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Atmosferdeki CO_2 konsantrasyonlarının Mart 1959-Haziran 2022 arasındaki değişimi (NOAA, 2022) 7

Şekil 2.2: Türkiye'de 1971-2021 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklıkların uzun yıllar ortalamasından sapması (MGM, 2022) 8

Şekil 2.3: Türkiye'de 1981-2021 yılları arasında yıllık alansal yağışların uzun yıllar ortalamasından sapması (MGM, 2022) 9

Şekil 2.4: Türkiye'de 1971-2021 yılları arasında kaydedilen aşırı hava olayları (MGM, 2022) 9

Şekil 2.5: Karbon yutak alanlarınca atmosferden alınan ya da atmosfere salınan CO_2 Miktarları (Tolunay (2021)'den değiştirilerek) 12

Şekil 2.6: Küresel karbon döngüsü (Friedlingstein ve diğ., 2022) 13

Şekil 2.7: 2021 yılında atmosferdeki CO_2 konsansantrasyonlarının aylara göre değişimi (NOAA (2022)'den yararlanılarak çizilmiştir) 14

Şekil 2.8: Küresel ölçekte ormanlardaki karbon havuzlarında 2020 yılındaki karbon stokları (FAO (2020a)'dan yararlanılarak çizilmiştir) 15

Şekil 2.9: Toprakta organik ve inorganik karbon havuzlarının çeşitleri. Son satırda listelenen sayısal değerler, çeşitli topraklarda organik ve inorganik karbonun yıllık birikim aralıklarıdır (Lal, 2016). 17

Şekil 2.10: Toprak organik karbon miktarlarının küresel dağılımı (Scharlemann ve diğ., 2014). 20

Şekil 2.11: 2007-2017 yılları arasında alınan toprak verileri üzerinden hazırlanan Türkiye toprak organik karbon stok haritası (ÇEM, 2018) 20

Şekil 2.12: Erinç (2001)'e göre Türkiye'de bulunan kıyı ve kara kumulları (Ertek, 2011). 30

Şekil 2.13: Avcı ve diğ. (2015)'e göre Türkiye'de bulunan kıyı kumulları. 31

Şekil 2.14: Durusu Kumulunda kullanılan a) tahta rüzgar perdeleri, b) saz ve çalılardan oluşan rüzgar perdeleri, c) çayırlama d) Çalı perde aralarına 2,5 m aralıkla dikilen sahil çamı fidanları (Fotoğraflar OGM (2003) Arşivinden alınmıştır) 32

Şekil 3.1: Araştırma alanı. 37

Şekil 3.2: Durusu Gölü kumul alanına ait Durusu Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022) ağaç türleri ve arazi kullanım tipleri haritası (OGM, 2013). . 42

Şekil 3.3: Durusu Kumulunda yer alan farklı ekosistemler (Tolunay ve diğ., 2017). 43

Şekil 3.4: CBM-CFS3 modeli için gerekli (gri kutular) girdi tipleri (Kull ve diğ., 2019). 45

Şekil 3.5: CBM-CFS3 Modelinin simülasyon akış şeması (Kull ve diğ., 2019). 46

Şekil 3.6: Senaryo 1 ve 2 için bitkisel kütle model bileşenlerini (üstte) ve uygulamasını (altta) özetleyen akış şeması (Boudewyn ve diğ., 2007). 49

Şekil 3.7: FBDC Modelinde Bulunan Karbon Havuzları (Yi ve diğ., 2013). 52

Şekil 3.8: Araştırma alanındaki örnek alanlar ve boş kumul alanları. 57

Şekil 3.9: Araziye yerleştirilen ölü örtü kapanları. 63

Şekil 3.10: Araziye yerleştirilen ölü örtü ayrışma keseleri. 66

Şekil 4.1: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 84

Şekil 4.2: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 85

Şekil 4.3: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 85

Şekil 4.4: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 86

Şekil 4.5: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 87

Şekil 4.6: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 88

Şekil 4.7: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 88

Şekil 4.8: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 89

Şekil 4.9: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 90

Şekil 4.10: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 91

Şekil 4.11: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 92

Şekil 4.12: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 92

Şekil 4.13: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 94

Şekil 4.14: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 94

Şekil 4.15: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 95

Şekil 4.16: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 96

Şekil 4.17: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 97

Şekil 4.18: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 97

Şekil 4.19: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 98

Şekil 4.20: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 98

Şekil 4.21: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 99

Şekil 4.22: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 100

Şekil 4.23: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 100

Şekil 4.24: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 101

Şekil 4.25: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 102

Şekil 4.26: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 103

Şekil 4.27: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 103

Şekil 4.28: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 103

Şekil 4.29: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 105

Şekil 4.30: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 105

Şekil 4.31: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 106

Şekil 4.32: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 106

Şekil 4.33: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 107

Şekil 4.34: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 108

Şekil 4.35: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 108

Şekil 4.36: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 108

Şekil 4.37: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 110

Şekil 4.38: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 110

Şekil 4.39: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 110

Şekil 4.40: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha). 111

Şekil 4.41: CBM-CFS3 modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre fıstık çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha/yıl) (n=21). 112

Şekil 4.42: FBDC modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre fıstık çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha/yıl) (n=21). 113

Şekil 4.43: CBM-CFS3 modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre sahil çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha) (n=21). 114

Şekil 4.44: FBDC modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre sahil çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha) (n=21). 114

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: İnsan kaynaklı küresel sera gazı salımları (IPCC, 2022) 10

Tablo 2.2: Türkiye sera gazı salımlarının sektörlere göre dağılımı (milyon ton CO_2 eşdeğeri/yıl) (TÜİK, 2022) 11

Tablo 2.3: Orman karbon havuzları (IPCC, 2003; IPCC, 2006). 15

Tablo 2.4: Ormanlarda bitkisel kütledeki ve toplam (bitkisel kütle, ölü örtü, ölü odun, toprak) karbon stokları ile birim alandaki karbon miktarları (FAO, 2020b) 16

Tablo 2.5: 2015 yılı itibarıyla ormanlardaki karbon havuzlarında bulunan karbon stokları (Tolunay ve diğ., 2018) 16

Tablo 2.6: Literatürde rastlanan toprak organik karbon biçimleri (Stockmann ve diğ., 2013). 18

Tablo 2.7: Ülkemizde çeşitli arazi kullanım sınıflarındaki TOK stokları (ÇEM, 2018) 21

Tablo 2.8: TODAK Rehberinde kullanılan katmanlara ait tanımlar (IPCC, 2006). 25

Tablo 3.1: Çatalca Meteoroloji İstasyonuna (1986-1996) ilişkin veriler. 38

Tablo 3.2: Çatalca Radar Meteoroloji İstasyonuna (2009-2016) ilişkin veriler. 39

Tablo 3.3: Kumköy (Kilyos) Meteoroloji İstasyonuna (1970-2011) ilişkin veriler. 39

Tablo 3.4: CBM-CFS3 ve FBDC modellerinde kullanılmak üzere araştırma alanı özelinde WorldClim veri tabanından elde edilen meteorolojik tahminler. 40

Tablo 3.5: Durusu (Terkos) kumul alanına ait Durusu Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022) verileri (OGM, 2013'ten Tolunay ve diğ., 2017 tarafından derlenmiştir). 41

Tablo 3.6: Modellerde kullanlan *Varsayılan* değer ve katsayılar 55

Tablo 3.7: Durusu kumul ağaçlandırma alanlarında fıstık çamı türüne ait meşcerelerden seçilen örnek alanlara ait başlıca bilgiler. 58

Tablo 3.8: Durusu kumul ağaçlandırması alanlarında sahil çamı türüne ait meşcerelerden seçilen örnek alanlara ait başlıca bilgiler. 59

Tablo 3.9: Fıstık çamı ve sahil çamı meşcerelerinde hacimlerin 5 yıllık periyotlarla değişimi (Pehlivan, 2017). 59

Tablo 3.10: Bitki bileşen havuzlarına göre modellerde girdi olarak kullanılan organik karbon oranları ve standart hatalar. 62

Tablo 3.11: CBM-CFS3 Ölü Organik Madde Havuzları ve Girdi Belirleme Yöntemleri. 68

Tablo 4.1: Fıstık çamı meşcerelerinde belirlenen hacim değerleri (m^3/ha) (n=21). 74

Tablo 4.2: Sahil çamı meşcerelerinde belirlenen hacim değerleri (m^3/ha) (n=21). 75

Tablo 4.3: Fıstık çamı meşcerelerinde havuzlardaki karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 75

Tablo 4.4: Sahil çamı meşcerelerinde havuzlardaki karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 76

Tablo 4.5: Fıstık çamı meşcerelerinde gözlemlenen ölü örtü döküm miktarları (t/ha/yıl) (n=21). 76

Tablo 4.6: Sahil çamı meşcerelerinde gözlemlenen ölü örtü döküm miktarları (t/ha/yıl) (n=21). 77

Tablo 4.7: Fıstık çamı meşcerelerinde gözlemlenen 1 yıllık ayrışma (k) oranları (n=21). 78

Tablo 4.8: Sahil çamı meşcerelerinde gözlemlenen 1 yıllık ayrışma (k) oranları (n=21). 78

Tablo 4.9: Modellerde girdi olarak kullanılmak üzere gövde hacmini tahmin etmede kullanılan model ve katsayılar. 79

Tablo 4.10: Boudewyn yaklaşımına göre hesaplanan bitkisel kütle tahmin katsayıları. 80

Tablo 4.11: CBM-CFS3 modelinde ağaç bileşenlerinin oran tahmininde kullanılan katsayılar. 81

Tablo 4.12: FBDC modelinde kullanılan ağaç bileşenlerinin tahmininde kullanılan katsayılar. 81

Tablo 4.13: CBM-CFS3 ve FBDC modellerinde kullanılan büyüme çarpanları. 82

Tablo 4.14: CBM-CFS3 modeline girdi olarak tanıtılan ayrışma oranları. 82

Tablo 4.15: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 84

Tablo 4.16: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 87

Tablo 4.17: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 90

Tablo 4.18: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 93

Tablo 4.19: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 96

Tablo 4.20: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 99

Tablo 4.21: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının toprak organik karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 102

Tablo 4.22: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının toprak organik karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 104

Tablo 4.23: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının toplam ekosistem karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 107

Tablo 4.24: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının toplam ekosistem karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21). 109

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
°C	: Santigrad derece
CH_4	: Metan
CO_2	: Karbondioksit
cm	: Santimetre
$D_{1,3}$	: Göğüs yüksekliğindeki /1,3 m) çap
Gt	: Gigaton
ha	: Hektar
HFC's	: Hidroflorokarbonlar
kg	: Kilogram
m	: Metre
N_2O	: Diazot monoksit
PFC's	: Perflorokarbonlar
ppb	: Milyarda parça
ppm	: Milyonda parça
SF_6	: Kükürthekzaflorid
t	: Ton

Kısaltmalar	Açıklama
AFOLU	: Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımları (TODAK)
ALT	: Toprak üstü ölü örtü
AWD	: Toprak üstü odunsu döküm
BÇ	: Büyüme çarpanı
BRN	: Dal
BIO	: Canlı bitkisel kütle
BLT	: Toprak içindeki ölü örtü bileşenleri
BM	: Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BWD	: Toprak içerisinde yer alan odunsu döküm

CBM-CFS3 : Kanada Orman Sektörü - Karbon Bütçe Modeli
CBS : Coğrafi bilgi sistemi
COP : Taraflar Konferansı
CRT : Kalın kök
ÇEM : Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
DOM : Ölü organik madde
EKO : Toplam ekosistem karbonu
FAO : BM Gıda ve Tarım Örgütü
FBDC : Orman Bitkisel Kütlesi ve Ölü Organik Madde Karbon Modeli
FOL : İbre/yaprak
FRT : İnce kök
GHG : Antropojenik sera gazları
GST : CBS tabanlı toprak tipi
HUM : Humus
IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KGO : Kabuklu gövde odunu
KTO : Kabuklu ticari gövde odunu
KzGO : Kabuksuz gövde odunu
KzTO : Kabuksuz ticari gövde odunu
LULUCF : Arazi kullanımı, arazi kullanımım değişikliği ve ormancılık (AKAKDO)
Mak : Maksimum
MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Min : Minimum
NASA : ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NIR : Sera Gazları Ulusal Envanter Raporu
NOAA : ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OGM : Orman Genel Müdürlüğü
ÖÖ : Ölü örtü
ÖOD : Ölü odun
ÖOM : Ölü organik madde
Ort. : Ortalama
S1 : Simülasyon 1
S2 : Simülasyon 2

S3 : Simülasyon 3

S4 : Simülasyon 4

SOC : Soil organic carbon (Toprak organik karbonu)

SPS : Toprak Profil İstatistikleri

Std.Ht. : Standart hata

STM **:** Gövde

TBK : Toplam bitkisel kütle

TDK : Toplam kuru dal

TİK : Toprak inorganik karbonu

TOK : Toprak organik Karbonu

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

TYD : Toplam yaş dal

UNEP : BM Çevre Programı

WMO : Dünya Meteoroloji Örgütü

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DURUSU KUMUL AĞAÇLANDIRMASINDA TOPRAKTAKİ ORGANİK KARBON MİKTARININ TAHMİNİNDE BAZI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Alper Gün ÖZTURNA

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY

Karbon, ormanlarda bitkisel kütle, ölü örtü, ölü odun ve toprak havuzlarında depolanabilmektedir. Bu nedenle ormanlar dünyadaki en önemli karbon havuzlarıdır. Ormanlar, fotosentezle atmosferdeki CO_2'yi önce bitkisel kütlede bağlaması ve ölen ağaç bileşenleri ile karbonun ölü örtü, ölü odun ve topraklarda birikmesiyle iklim değişikliğinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Son yıllarda net sıfır karbon emisyonu yaklaşımı önem kazanmış ve çoğu ülke, önümüzdeki otuz yıl içinde bu hedefe ulaşacağını açıklamıştır. Net sıfır karbon emisyonu, insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazlarıyla karbon yutak alanlarında atmosferden alınan CO_2 miktarının eşit olmasıdır. Bu nedenle ülkelerin tüm karbon yutak alanlarındaki karbon stok değişimlerini belirlemesi gerekmektedir. Sera gazları ulusal envanterlerinde, aralarında Türkiye'nin de olduğu çok sayıda ülke, orman ekosistemlerinde sadece canlı ağaçlardaki karbon stok değişimlerini raporlayabilmektedir. Ölü örtü, ölü odun ve TOK havuzlarında ise hesaplama yapılamamaktadır. Bu havuzlardaki stok değişimleri ya stok değişimi yöntemiyle hesaplanabilmekte ya da veri mevcudiyetine göre modelleme çalışmalarıyla tahmin edilmektedir. Dünya genelinde TOK havuzlarını tahmin etmek için

geliştirilmiş çok sayıda model bulunmaktadır. Orman ekosistemlerindeki ağaçların büyümesi, ölü örtü dökümü ve ölü örtünün ayrışmasını esas alarak geliştirilen bu modellerin çalıştırılabilmesi için bu olaylara dair verilere ihtiyaç bulunmaktadır. Farklı ülke ya da bölgeler için geliştirilen modellerin yeni bir bölge ya da ülkede test edilmesi, doğrulanması ve kalibrasyonu gerekmektedir. Model girdileri olarak adlandırılan ve çoğunlukla yaşa bağlı hacim ya da bitkisel kütle verileri, ölü örtü döküm ve ayrışma oranlarının çalışma alanına özgü geliştirilmesi modellerin tahmin başarısını arttırmaktadır.

Ülkemizde orman TOK havuzlarındaki stok değişimlerinin modellerle tahmin edildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu eksikliği gidermek için Kanada Orman Sektörü Karbon Bütçe Modeli (CBM-CFS3) ve Orman Bitkisel Kütlesi ve Ölü Organik Madde Karbonu (FBDC) isimli modellerin ülkemizde test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla İstanbul ilinin Arnavutköy ilçesine bağlı Durusu (Terkos) Kumulundaki fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) ve sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarında çalışılması planlanmıştır. Çalışma alanı olarak kumul ağaçlandırmasının seçilmesinin nedeni 50 yıl öncesine kadar boş olan ve dolayısıyla toprak organik karbon stokları oldukça düşük olan kumulların ağaçlandırmayla TOK havuzlarında karbon birikimi olacağının varsayılmasıdır. Çalışmada fıstık çamı ve sahil çamı ağaçlandırmalarından 3 farklı meşcere tipinden 7 tekrarlı olarak örnek alanlar seçilmiştir. Bu alanlarda 1 yıl süreyle ölü örtü dökümü takip edilmiş ve çeşitli ağaç bileşenlerinin (ibre, ince ve kalın dal, gövde kabuğu, gövde, kılcal kök, ince kök, kalın kök ve kök kütüğü) ayrışma oranları belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanına özgü olarak geliştirilmiş yaşa bağlı hacim denklemlerinden kabuksuz ticari gövde odunu ve bitkisel kütle denklemleri oluşturulmuştur. Modellerin varsayılan değerlerinin, çalışma alanına özgü bitkisel kütle, ölü örtü döküm oranı ve ayrışma katsayılarının ve büyüme çarpanlarının kullanıldığı dört farklı simülasyonla tahmin edilen TOK ve diğer havuzlardaki karbon stokları, ölçülen karbon stoklarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak her dört simülasyonda TOK havuzu özelinde modellerin tahminlerinin ölçülen değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Ancak bu durumun modellerden değil çalışma alanındaki yetişme ortamı koşullarının değişkenliğinden, uygulanan dikim aralıkları ve düzensiz aralamalar nedeniyle ağaç sayısının örnek alanlar arasındaki farklılığından ve çalışma alanının geçmişindeki devrik ve böcek zararı gibi kayıtların tutulmamış olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Örnek alanların aynı bonitet ve benzer silvikültürel uygulama geçmişine sahip alanlardan oluşmasına ek olarak ölü örtü dökümü ve ayrışma çalışmalarının uzun yıllar devam ettirilmesi halinde her iki modelin de tahmin başarısının

yükseleceği öngörülmektedir. CBM-CFS3 modelinin, ülkemize özgü kabuksuz ticari gövde odunu hacim verileri üretilmesi halinde aynı yaşlı ormanlarda kullanılabileceği düşünülmektedir. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılmasa da FBDC modeli için veri teminin daha kolay olmasının modelin başlıca avantajı olduğu değerlendirilmiştir. Ülkemizde gelecek yıllarda TOK havuzlarındaki karbon stok değişimlerinin belirlenebilmesi için modellerin ihtiyaç duyduğu girdilerin üretilmesine yönelik araştırmalara ihtiyaç vardır.

Haziran 2022, 182 sayfa.

Anahtar kelimeler: CBM-CFS3, FBDC, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, Modelleme

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

COMPARISON OF SOME MODELS ON SOIL ORGANIC CARBON ESTIMATION IN DURUSU COASTAL SAND DUNE PLANTATIONS

Alper Gün ÖZTURNA

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Forest Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY

In forest ecosystems, carbon can be sequestrated in biomass, litter, dead wood and soils. Therefore, forests are the most important carbon sinks in the world. Forests contribute to mitigation of climate change with capturing the atmospheric CO_2 by photosynthesis and storing it in the aforementioned pools. In recent years, net zero emissions approach has gained importance and most countries have pledged to reach net zero within the next thirty years. Net zero CO_2 emissions are achieved when anthropogenic CO_2 emissions are balanced globally by anthropogenic CO_2 removals over a specified period. For this reason, countries need to determine the carbon stock changes in all carbon sinks. In their national greenhouse gas inventories, many countries, including Turkey, can only report carbon stock changes in living trees in forest ecosystems. Calculations cannot be made for litter, dead wood and soil organic carbon (SOC) pools. The stock changes in these pools can either be calculated using stock change methods or estimated by modelling studies according to the availability of data. Numerous models have been developed to estimate SOC pool stocks around the world. In order to run these models, which were developed based on tree growth litterfall and decomposition;

representitive data on these circumstances are needed. Models developed for various countries or regions need to be tested, verified and calibrated for additional trials located in a different region or country. The site-specific development of age-related volume and/or biomass data alongside the litterfall and decomposition rates, which are the essential of model inputs, increases the estimation success of the models.

Studies on SOC pool estimation by models are very limited in Turkey. In order to eliminate this deficiency, it is aimed to test the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3) and Forest Biomass and Dead organic matter Carbon (FBDC) models in our country. For this purpose, it is aimed to run both models in stone pine (*Pinus pinea* L.) and maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) afforestations in Durusu (Terkos) coastal dune of Istanbul. The reason for choosing Durusu as the study area was the assumption of dunes have very limited SOC contents. It is assumed that the dunes, which were empty until approximately 50 years ago, would accumulate carbon over time with afforestation. Plots were selected from 3 different development stages of both species, with 7 replicates. In each plot, litterfall was measured for 1 year as well as the annual decomposition rates of various biomass components (needles, fine and coarse branches, stembark, stemwood and 4 compartments of roots as fine, thin, coarse and stump). In addition, gross merchantable stemwood volume and biomass coefficients were developed from age-related equations, specifically for the study area. Afterwards, the estimated carbon stocks in SOC and other pools were compared with the measured carbon stocks. The comparisons made in 4 different simulations; are comprised of model defaults, site-specific inputs (biomass, litterfall and decomposition rates, climate) and 2 sets of growth multipliers (plot specific and develeopment stage-specific). As a result, it was determined that the model estimations for the SOC pool were less than the measured values in all four simulations. However, it is considered that underestimations were derived from the variability of the site conditions, not the models. The differences in stand densities due to irregular spacing and thinning practices in addition to the lack of information about various disturbance types (insect damages, snagfalls etc) are also thought to be possible sources of this uncertainty. It is predicted that the estimation success of both models will increase in plots with same site condidions, similar silvicultural treatment histories alongside long-term litterfall and decomposition studies. If country-specific gross merchantable stem volume data are produced, it is thought that CBM-CFS3 can be used nationally in even-aged forests. Although it still is not widely performed, it has been evaluated that the main advantage of FBDC is the ease in obtaining input data. In our

country, there is a need for research to generate inputs required by the models in order to estimate the carbon stocks and stock changes in SOC pools better.

June 2022, 182. pages.

Keywords: CBM-CFS3, FBDC, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, Modelling

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından mevcut jeolojik çağın Antroposen olarak adlandırılması önerilmektedir (Allen ve diğ., 2018). Bu önerinin temelinde, bir bütün olarak Dünya sisteminin yapısı ve işleyişinde gerçekleşen önemli değişikliklerin insan kaynaklı ve de güdümlü olması düşüncesi yatmaktadır. 2000 yılından bu yana gündeme getirilen bu kavramsal çağ, insan faaliyetlerinin Dünya sistemini geçmiş çağlardan farklı bir etki ile jeolojik birikintiler oluşturacak ölçüde değiştirdiğine dair stratigrafik kanıtlara dayanmaktadır. 20. yüzyılın ortalarından bu yana süregeldiği düşünülmekte olan Antroposen çağı, devletlerin dinamikleri ve geleceği üzerindeki önemli etkisinin belirlenmesi amacı ile çeşitli disiplinler tarafından yoğun bir biçimde ele alınmaktadır. Konu hakkında yapılan araştırma ve incelemeler, insanlar tarafından geleneksel ve teknolojik gelişmeler ile sürdürülen çeşitli faaliyetlerin Dünya sisteminde yarattığı etkilerin üzerine yoğunlaşmaktadır. Antroposen çağına damgasını vuran etkilerin en önemlilerinden birisi ise küresel ısınma olayı ve küresel iklim değişikliğidir.

Sanayi Devrimi, küresel ısınma için bir başlangıç olarak kabul edilmektedir. Çünkü Sanayi Devrimi ile birlikte fosil yakıtlar daha fazla tüketilmeye başlanmış ve salımlar nedeniyle atmosferdeki karbon konsantrasyonları da yükselişe geçmiştir. Sanayi Devrim ile neredeyse eş zamanlı olarak, Eunice Footnot tarafından 1856 yılında yazılan "Güneş ışınlarının ısısını etkileyen koşullar" başlıklı makaleyle CO_2 ve su buharının termal radyasyonu absorbe ettiğinin ortaya konması (Jackson, 2019) oldukça ironiktir. Başka bir ifadeyle, atmosferde artan CO_2 konsantrasyonlarının lokal ve hatta küresel bir ısınmaya yol açtığı uzun yıllardır bilinmektedir. Ancak bu zaman diliminde CO_2 ve diğer sera gazı salımlarının azaltılması için neredeyse hiç önlem alınmamıştır. 1970'li yılların sonunda iklim değişikliği konusunda küresel ölçekte ilk adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda 1979 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından Birinci Dünya İklim Konferansı düzenlenmiştir (Türkeş, 2001). Konferans, sonucunda politika bir eylemi çağrısı yapılmamış olmasına rağmen bir dizi çalıştayın temelinin atılmasına yol açmıştır. Bu kapsamda 1980, 1983 ve 1985 yıllarında Avusturya'nın Villach kentinde çalıştaylar düzenlenmiştir (Agrawala, 1998). Çalıştaylarda bilim insanlarınca 21. Yüzyılın ilk yarısında küresel ortalama sıcaklıklarda artışlar olacağı uyarıları yapılmış, aynı

zamanda bilim insanları ve politikacıların alternatif politikalar geliştirmek için aktif işbirliğine başlamaları çağrısında bulunulmuştur (Agrawala, 1998). 1988 yılında ise BM Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından hükümetlere iklim politikaları geliştirmek için kullanabilecekleri bilimsel bilgiler sağlamak amacıyla Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. Yine 1998 yılında düzenlenen Değişen Atmosfer Toronto Konferansı'nda CO_2 salımlarının 2005 yılına kadar % 20 azaltılması ve bir iklim sözleşmesi çerçevesinin hazırlanması önerisi getirilmiştir (Türkeş, 2001). 1992 yılı, iklim değişikliği konusunda bir dönüm noktası olmuş ve Rio de Janeiro'da düzenlenen Birleşmiş Milletler (BM) Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) imzaya açılmıştır. Günümüzde 197 tarafı bulunan bu sözleşme 24 Mayıs 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin amacı *"atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmaktır"* (BMİDÇS, 1992). Sözleşmenin ilkeleri arasında taraf ülkelerin sera gazı salımlarını azaltması ve yutak alanların koruması da bulunmaktadır. Bunun için tarafların karşılaştırılabilir metodolojileri kullanarak sera gazı ulusal envanterlerini hazırlamaları yükümlülüğüne de sözleşmede yer verilmiştir (BMİDÇS, 1992). Sonrasında sözleşmenin amaç, ilke ve yükümlülüklerine dair her yıl düzenlenen Taraflar Konferanslarında çeşitli kararlar alınmıştır. Bu konferanslardan birisi de 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde gerçekleştirilen BMİDÇS Üçüncü Taraflar Konferansı (COP3)'dır. COP3'te kabul edilen Kyoto Protokolü, BMİDÇS'de yer alan yasal olarak bağlayıcı taahhütleri de içermektedir. Protokolün B ekine dâhil olan (çoğunlukla OECD ve ekonomileri geçiş sürecinde olan) ülkeler, antropojenik sera gazı (GHG) salımlarını ilk taahhüt döneminde (2008-2012) 1990 yılında gözlemlenen seviyelerinin en az %5 altına düşürmeyi taahhüt etmiştir (Allen ve diğ., 2018). 2015 yılında Paris'te BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda (COP21) 196 Taraf ile kabul edilen Paris Anlaşması ise 2016 yılında yürürlüğe girmiştir. Anlaşmanın amacı, küresel ortalama sıcaklıktaki artışı sanayi devrimi öncesi seviyelerin 2 °C altında tutmak ve sıcaklık artışını yine sanayi devrimi öncesi seviyelerin (limit değer olarak) 1,5 °C civarında tutulması için çaba göstermektir (Allen ve diğ., 2018).

BMİDÇS'ne taraf olan ülkelerin sera gazı ulusal envanter GHG salım ve depolanmaları ile ilgili olarak yıllık Sera Gazları Ulusal Envanter Raporlarını (NIR) hazırlamaları için IPCC tarafından metodolojiler geliştirilmiştir (IPCC, 2003; IPCC, 2006). Enerji, endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı, atıklar ile tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımları olarak belirlenen salım

kaynakları ve yutak alanlara dair ülkelerin sahip olduğu veri niteliği ve kalitesine göre metodolojiler hazırlanmıştır

Orman ekosistemleri önemli bir karbon yutağıdır. Üstelik ormanlar ve diğer ekosistemler CO_2'i atmosferden sadece klorofilli bitkiler ile almamakta, ölü örtü, ölü odun ve toprak gibi havuzlarda da biriktirebilmektedir. Bu nedenle orman ekosistemlerinde canlı bitkisel kütle ve diğer karbon havuzlarındaki yıllık karbon değişimlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu ölçekteki uygulamalar için IPCC tarafından tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımlarını (TODAK /AFOLU) kapsayan bir rehber (kılavuz) da bulunmaktadır. Ormanlar ve diğer arazi kullanımlardaki yıllık karbon stoku değişimleri AFOLU rehberine göre uluslararası standartlara uygun biçimlerde hesaplanabilmektedir (IPCC, 2006).

Ormanlardaki karbon havuzlarından bitkisel kütledeki yıllık karbon değişimlerini belirlemek, orman envanterleriyle ağaç serveti, artım ve orman alanı gibi veriler üretildiği için nispeten kolaydır (Tolunay, 2019). Ancak ölü örtü, ölü odun ve topraklardaki karbon stoklarının belirlenmesi oldukça güçtür. Nitekim ülkemiz, sera gazı ulusal envanter raporlamalarında bu havuzlardaki yıllık değişimleri raporlayamamakta, sadece arazi kullanım değişikliği kaynaklı salım ya da birikimler hesaplamalara dâhil edilmektedir (TÜİK, 2022).

Toprak organik karbonu (TOK) stokları ve yıllık değişimlerinin kesin olarak belirlenmesi, kapsamlı bir arazi etüdünün ardından tekrarlı olarak yapılması gereken arazi ve laboratuvar çalışmaları ile mümkündür. Bu arazi çalışmalarında özellikle ağaç bileşenlerine ait yıllık döküm miktarlarının belirlenmesi öncelikli amaçtır. Çünkü orman topraklarında karbon birikiminin büyük bir kısmı ağaçlardan dökülen yaprak/ibre, dal, kabuk, kozalak ve diğer bileşenlerden (çiçek kurulları, meyveler vb.) oluşmaktadır. Ardından, dökülen bu ölü organik materyallerin yılda hangi miktar ya da oranlarda ayrıştığının ortaya konması gerekmektedir. Benzer şekilde, köklerin (özellikle kılcal ve ince köklerin) ayrışması ile de toprağa karbon girişi gerçekleşmektedir. Bu nedenle toprağa yıllık katılan ince kök miktarı ve bunları ayrışma oranları da belirlenen değerler arasındadır. Ancak bu çalışmalar emek, masraf ve zaman olarak son derece yoğun ve disiplinli araştırılması gereken işlemlerden oluşmaktadır. Zorlukların çözümündeki diğer bir seçenek ise, toprak organik karbon dinamiklerinin yüksek başarı oranları ile tahmin etme yeteneğinde olan (ampirik yöntemler ile desteklenen ve süreç-tabanlı simülasyonların uygulanabildiği) hibrit bilgisayar modellerinin kullanımıdır. Özellikle UNFCCC ve benzeri uluslararası anlaşmaların da kullanımını desteklediği bu yazılımlar (IPCC,

2006), gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerce karbon stokları ve dinamiklerinin belirlenmesi ve bildirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Modellere örnek olarak CENTURY (Parton ve diğ., 1994), Forest-DNDC (Li ve diğ., 2005), RothC (Coleman ve Jenkinson, 1996) ve bu çalışmada da kullanılan CBM-CFS3 (Kurz ve diğ., 2009) ve FBDC (Lee ve diğ., 2014) modelleri verilebilir.

Paris Anlaşmasının yürürlüğe girmesi ve anlaşmanın amacı olan sıcaklık artışlarının 2 °C'nin altında tutulabilmesi için küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar yarı yarıya azaltılması ve 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşılması gerekmektedir. Net sıfır karbon emisyonu, insan etkinlikleriyle atmosfere ver ilen sera gazı miktarıyla karbon yutaklarınca atmosferden alınan CO_2 miktarının eşit olmasıdır (Allen ve diğ., 2018). Çoğu ülke 2050 yılında net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşacaklarını taahhüt etmiştir. Ülkemiz ise bu hedefe 2053 yılında ulaşacağını açıklamıştır. Ülkelerin net sıfır karbon emisyonuna ulaşılıp ulaşmadığının ortaya konması açısından sera gazları ulusal envanter raporları önem arz etmektedir. Bu nedenle aralarında Türkiye'nin de olduğu karbon yutak alanlarındaki yıllık değişimleri henüz envantere dahil edemeyen ülkeler bu konuda çalışmaya başlamışlardır.

Oldukça önemli bir karbon havuzu olan ancak aynı zamanda salım kaynağı da olabilen topraklardaki yıllık değişimlerin belirlenmesi, ya ardaşık 2 envanter arasındaki stok farklarından ya da oldukça karmaşık olan topraklara giren organik madde ve bunların ayrışmasını temel alan modellerle olmaktadır. Ancak ülkemizde topraklardaki karbon stoklarındaki yıllık değişimleri belirlemeye yönelik sınırlı sayıda araştırma (Lee ve diğ., 2016a; Lee ve diğ., 2018) bulunmaktadır.

Doktora tezi olarak gerçekleştirilen bu çalışma ile İstanbul ilinin Arnavutköy ilçesine bağlı Durusu (Terkos) Kumul Ağaçlandırma alanlarında ölçülen TOK stokları ile dünya genelinde kullanılan 2 farklı model (CBM-CFS3 ve FBDC) ile tahmin edilen TOK stoklarının karşılaştırılması temel amaçtır. Çalışma fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) ve sahil çamı (*Pinus pinaster* Aiton.) meşcerelerinden alınan 21'er örnek alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başlıca amaçları

(i) Orman ekosistemlerinde yer alan örnek bir alanda toprak organik karbonunu tahmin etmeye yarayan 2 farklı modelin işleyişinin ve ülkemiz şartlarına uygunluğunun tecrübe edilmesi,

(ii) Toprak organik karbonunu tahmin eden modellerinin gereksinim duyduğu çeşitli girdi tiplerinin arazi ölçümleri ile belirlenmesi ve

(iii) Toprak organik karbonunu tahmin eden modellerin gelecek yıllarda yöresel ve ülke ölçeğinde kullanılabilmesi için gerekli önerilerin oluşturulmasıdır.

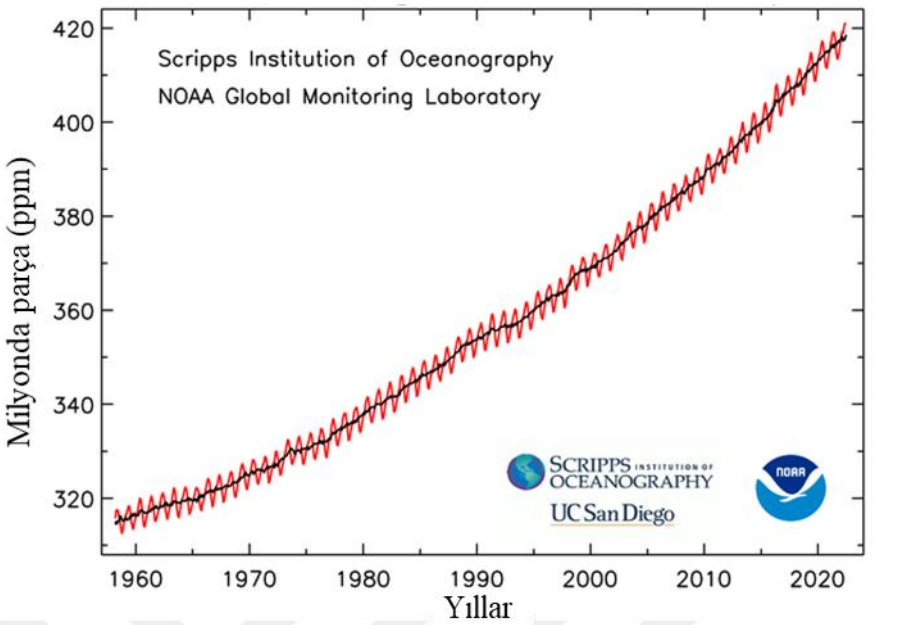
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Günümüzün en önemli ekolojik sorunlarından olan küresel ısınma, Türkeş (2008) tarafından "*Sanayi Devriminden beri, özellikle fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, tarımsal etkinlikler ve sanayi süreçleri gibi çeşitli insan etkinlikleri ile atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimlerindeki hızlı artışa bağlı olarak, şehirleşmenin de etkisiyle doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi sonucunda, yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında (alt ve orta troposfer) saptanan sıcaklık artışı"* olarak tanımlanmıştır. İnsan etkinlikleriyle atmosfere verilen ve atmosferin doğal sera etkisinin kuvvetlenmesine yol açan başlıca sera gazları karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), nitröz oksit (N_2O), perflorokarbonlar (PFC'ler), hidroflorokarbonlar (HFC'ler) ve kükürthekzaflorid (SF_6)'tir. Bu sera gazlarının en önemlisi olan CO_2 konsantrasyonu Sanayi Devrimi öncesinde atmosferde 280 ppm kadarken ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından Hawaii'deki Mauna Loa Adasındaki gözlemevi ölçümlerine göre Haziran 2022 itibarıyla 421 ppm'e ulaşmıştır (NOAA, 2022) (Şekil 2.1). 1992 yılında imzaya açılan ve 1994 yılından itibaren yürürlükte olan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine rağmen (BMİDÇS) CO_2 salımları sürekli artmaktadır. Buna bağlı olarak da atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artışı hız kazanmaktadır. Örneğin, yine NOAA verilerine göre 1990'lı yıllarda 1,6 ppm kadar olan yıllık ortalama CO_2 konsantrasyon artışı, 2000'li yıllarda 2,1 ppm; son 10 yılda ise 2,5 ppm olarak gerçekleşmiştir (NOAA, 2022).

Bir diğer önemli sera gazı olan CH_4 konsantrasyonları da sürekli artmaktadır Yine NOAA (2022) verilerine göre 1983 yılında 1630 ppb kadar olan atmosferdeki metan konsantrasyonları 2022 yılı başında 1909 ppb'ye yükselmiştir. Diğer sera gazlarındaki artış eğilimi de hızlanarak devam etmektedir.

Atmosferdeki sera gazı salımlarının artışıyla birlikte küresel sıcaklıklar da artmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 6. Değerlendirme Raporunda Dünya genelinde ortalama sıcaklıkların 1850-1900 yılları ortalamasına göre 1,09 °C kadar arttığı ifade edilmektedir (IPCC, 2021).



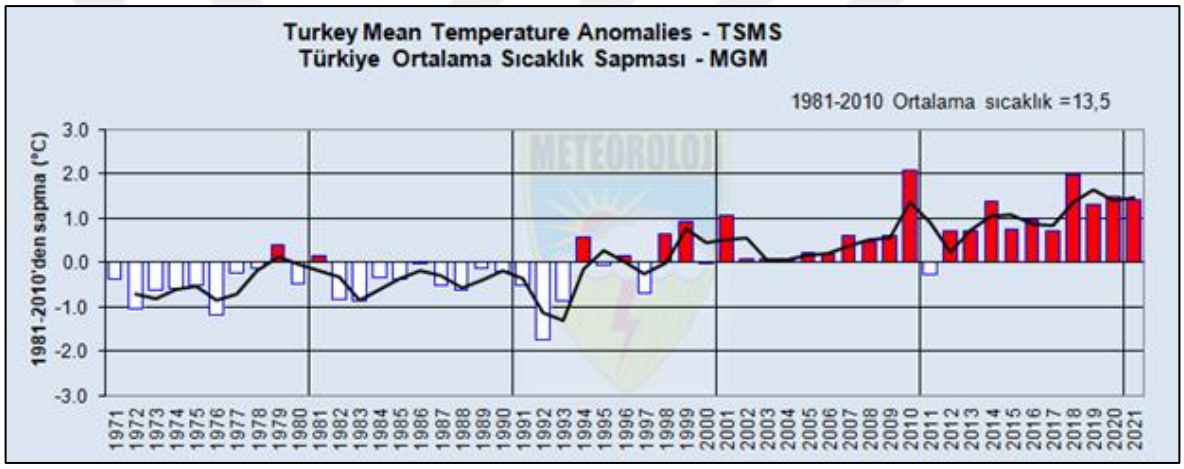
Şekil 2.1: Atmosferdeki CO_2 konsantrasyonlarının Mart 1959-Haziran 2022 arasındaki değişimi (NOAA, 2022)

Sıcaklık artışlarına bağlı olarak iklimlerde de değişiklikler gözlenmektedir. BMİDÇS (1992)'ne göre iklim değişikliği "*karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik"* olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, sıcaklık artışına bağlı olarak su döngüsü değişmekte, buharlaşma artmakta ve yağış dağılımları etkilenmektedir. 1901-2019 yılları arasında küresel ölçekte karalardaki yağışların arttığı, bu artışın 10 yıllık dönem ortalamasının 5,41-11,06 mm kadar olduğu raporlanmıştır (IPCC, 2021). Ancak yağışlar dünyanın her bölgesinde artmamaktadır. Güney Amerika'nın ortalarında, Kuzey Amerika'nın batısında, Kuzey Afrika'da, Orta Doğu'da ve Akdeniz Havzasında ise yağışlarda azalma eğiliminde olduğu bildirilmiştir (IPCC, 2021).

İklim değişikliğinin diğer önemli etkilerinden birisi de, deniz ve karalardaki buzulların erimesidir. Örneğin Kuzey Kutbundaki buzulların kapladığı alan 1979 yılında 6,9 milyon km^2 iken 2020 yılında 4,72 milyon km^2'ye gerilemiştir (NASA, 2022). Kara buzullarındaki erimeye örnek olarak da IPCC'nin "Değişen İklimde Okyanus ve Buzküre Üzerine Özel Rapor"unda değinilen Grönland buzullarındaki erime verilebilir (IPCC, 2019). Rapora göre 2006-2015 yılları arasında Grönland'da yıllık ortalama 278 milyar ton buzul erimiştir.

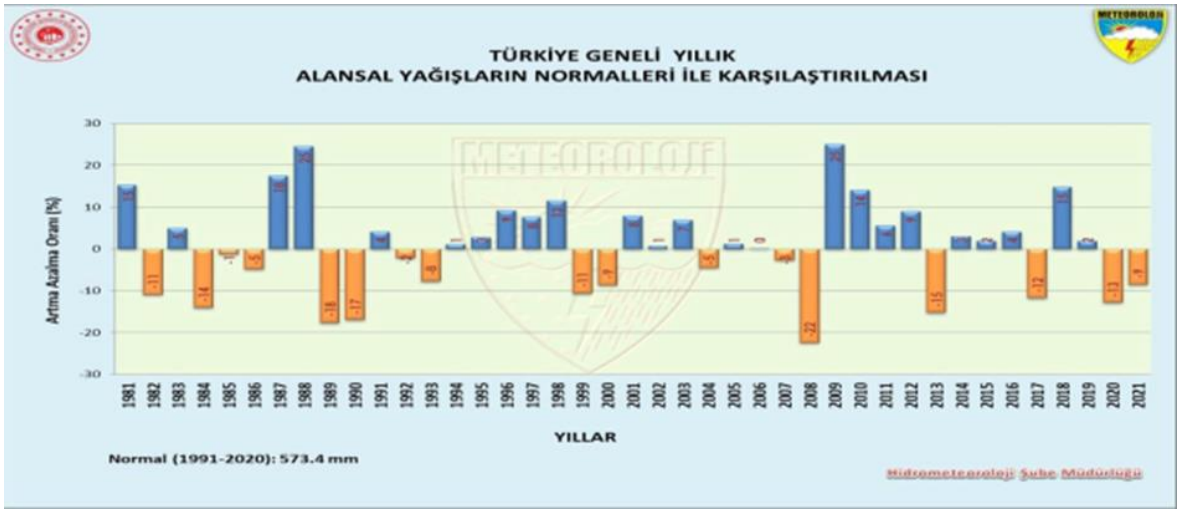
Küresel ısınmayla denizlerin de ısınması ve genişlemesi olayları, deniz ve kara buzullarının erimesiyle birlikte aynı zamanda deniz seviyelerinin de yükselmesine yol açmaktadır. Hatta IPCC 6. Değerlendirme Raporunda deniz seviyelerindeki yükselmeyle buzulların erimesinin geri döndürülemez boyutlara ulaştığı ifade edilmektedir (IPCC, 2021). Söz konusu rapora göre 1901-2018 yılları arasındaki deniz seviyelerindeki yükselme 20 cm kadardır.

Sıcaklıklar ülkemizde de artmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre 1990'lı yılların sonundan itibaren sıcaklıklar sürekli artmaktadır. Artışın en fazla olduğu yıllar 1981-2010 ortalamasına göre yaklaşık 2 °C daha daha sıcak olan 2010 ve 2018 yıllarıdır (Şekil 2.2) (MGM, 2022). Ancak yağışlarda belirli bir artma veya azalma eğilimi görülmemektedir (Şekil 2.3).

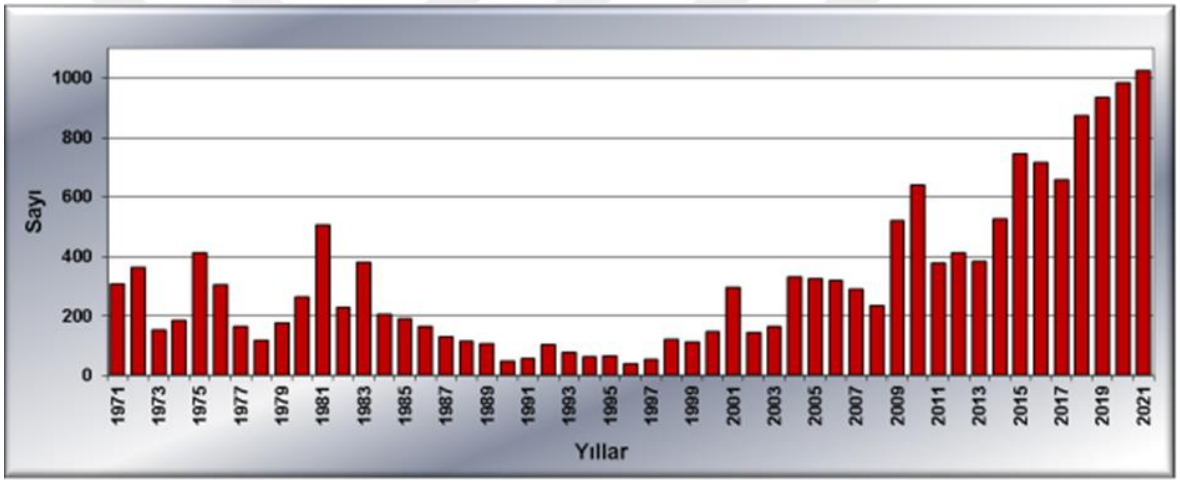


Şekil 2.2: Türkiye'de 1971-2021 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklıkların uzun yıllar ortalamasından sapması (MGM, 2022)

Küresel ısınmanın neden olduğu diğer bazı olaylar ise denizlerdeki pH değerlerinin düşmesi, mercanların ağarması, canlıların fenolojilerinde değişimler gibi olaylardır. İklim değişikliğine bağlı olarak aynı zamanda aşırı hava olaylarında da artışlar meydana gelmekte, sel ve taşkınlar, fırtınalar, dolu yağışları, kuraklıklar, sıcak hava dalgaları, heyelanlar, orman yangınları ve çığlar olabilmektedir (Tolunay, 2022). Türkeş (2020), sıralanan bu gibi aşırı hava olaylarının iklim değişikliğiyle sıklığının, şiddetinin ve süresinin arttığını, etki alanlarının genişlediği ve zamanlamasının değiştiğini ifade etmektedir. Nitekim Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre 1990'lı yılların ortalarından itibaren aşırı hava olayları sayısında artış gözlenmektedir. Özellikle son 4 yılda aşırı hava olayları rekor kırarak sürekli artmış ve 2021 yılında 1024'e yükselmiştir (Şekil 2.4) (MGM, 2022).



Şekil 2.3: Türkiye'de 1981-2021 yılları arasında yıllık alansal yağışların uzun yıllar ortalamasından sapması (MGM, 2022)



Şekil 2.4: Türkiye'de 1971-2021 yılları arasında kaydedilen aşırı hava olayları (MGM, 2022)

2.2. SERA GAZI SALIMLARI

2.2.1. Küresel Sera Gazı Salımları

Fosil yakıt kullanılarak enerji üretimi, sanayi faaliyetleri, tarım ve hayvancılık, arazi kullanım değişiklikleri ve ormansızlaşma, ulaşım, atıklar gibi bazı insan faaliyetleri atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. IPCC tarafından bu salım kaynakları dört ana başlıkta toplanmıştır. Bunlar (i) enerji (fosil yakıt tüketimi, enerji endüstrisi, inşaat, demir-çelik, sanayi, ulaşım vb.); (ii) endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı (mineral, kimyasal, metal ve elektronik sanayi kaynaklı salımlar ile yakıt ve solvent kullanımından kaynaklanan enerji dışı ürünler ile florlu gazların kullanımından kaynaklanan salımlar); (iii) tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanım değişikliği (AFOLU/TODAK) (hayvancılık ve gübre

yönetiminden kaynaklanan salımlar, tarım topraklarından kaynaklanan N_2O salımları, kireç ve üre uygulamalarından kaynaklanan CO_2 salımları, çeltik üretiminden kaynaklanan CH_4 salımları, arazi kullanım tipleri (orman, tarım, otlak, sulak alan, yerleşim alanları) ve bunlar arasındaki değişikliklerden kaynaklanan salımlar ile hasat edilmiş orman ürünleri) ve (iv) atıklardır (IPCC, 2006). Arazi kullanımları ve bunlar arasındaki değişiklikleri LULUCF/AKAKDO (arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık) sektörü olarak da tanımlanmaktadır.

IPCC (2022)'ye göre 1990-2019 yılları arasındaki sera gazı salımları 38 milyar ton CO_2 eşdeğeri/yıl değerinden 59 milyar ton CO_2 eşdeğeri/yıl'a yükselmiştir (Tablo 2.1). Sera gazı salımlarının önemli bir kısmı fosil yakıt tüketimi ve endüstri kaynaklıdır. 1990 sonrasında imzalanan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve bu sözleşme kapsamında çıkarılan Kyoto Protokolü ile Paris Anlaşmasının sera gazı salımlarını azaltmadığı görülmektedir.

Tablo 2.1: İnsan kaynaklı küresel sera gazı salımları (IPCC, 2022)

Dönemler	Ortalama yıllık sera gazı salımı (milyar ton CO_2 eşdeğeri/yıl)					
	Fosil yakıt tüketimi ve endüstriyel süreçler kaynaklı CO_2	**LULUCF kaynaklı CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**Florlu gazlar**	**Toplam sera gazı salımı**
2019	38±3,0	6,6±4,6	11±3,2	2,7±1,6	1,4±0,41	59±6,6
2010-2019	36±2,9	5,7±4,0	10±3,0	2,6±1,5	1,2±0,35	56±6,0
2000-2009	29±2,4	5,3±3,7	9,0±2,7	2,3±1,4	0,81±0,24	47±5,3
1990-1999	24±1,9	5,0±3,5	8,2±2,5	2,1±1,2	0,49±0,15	40±4,9
1990	23±1,8	5,0±3,5	8,2±2,5	2,0±1,2	0,38±0,11	38±4,8

2.2.2. Türkiye'nin Sera Gazı Salımları

BMİDÇS 8. Taraflar Konferansında Sözleşmenin Ek-1 listesinde yer alan ülkelerin yıllık olarak sera gazları ulusal envanter raporu hazırlamaları ve bunları yayınlamaları kararı alınmıştır. Bu kapsamda ülkemiz de 2006 yılından itibaren sera gazı salımlarını raporlamaya başlamıştır. Sonuncusu 2020 yılına ait verileri kapsayan ulusal sera gazı envanter raporuna göre ülkemizin 1990 yılında 220 milyon ton toplam sera gazı salımı 2020 yılında % 138 artışla 524 milyon ton CO_2 eşdeğerine yükselmiştir (Tablo 2.2) (TÜİK, 2022). Bu salımların % 70'i enerji sektöründen kaynaklanmakta olup, bunu tarım sektörü ile endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı sektörü izlemektedir.

Tablo 2.2: Türkiye sera gazı salımlarının sektörlere göre dağılımı (milyon ton CO_2 eşdeğeri/yıl) (TÜİK, 2022)

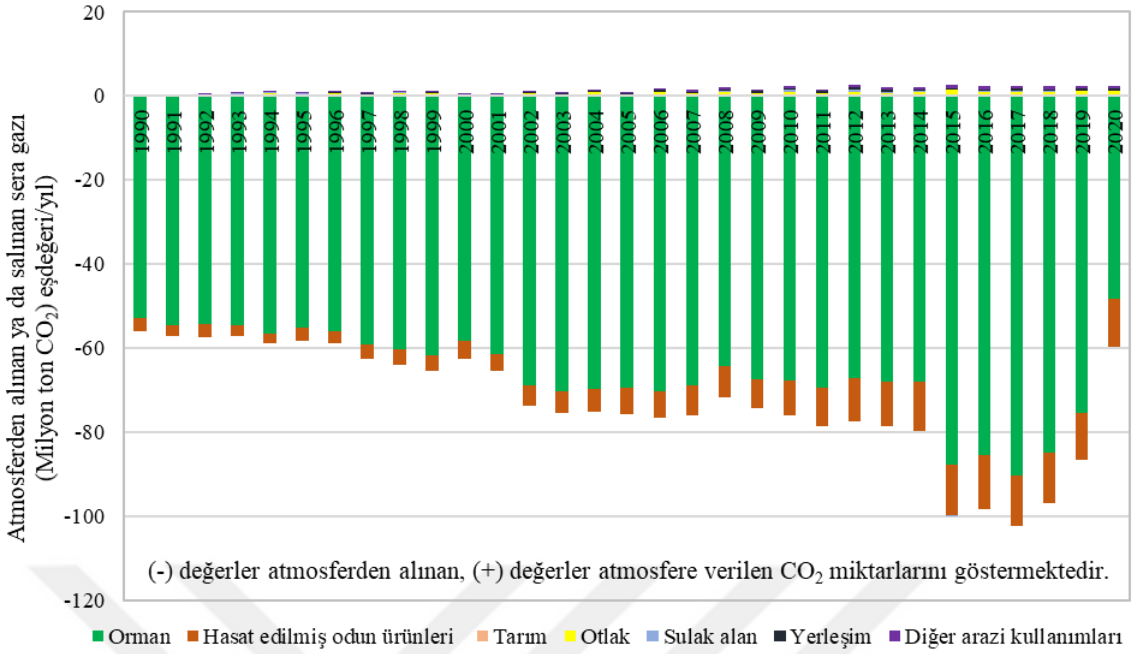
Sektör / Yıl	1990	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enerji	139,60	216,02	244,45	287,84	341,98	361,69	382,39	374,14	365,41	367,58
Endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı	22,98	26,31	33,70	48,98	59,21	63,45	66,41	67,97	58,58	66,76
Tarım	46,05	42,33	42,44	44,41	56,13	58,89	63,26	65,34	68,02	73,16
Atık	11,08	14,34	16,40	17,45	17,14	16,72	16,25	16,59	16,07	16,40
LULUCF	-55,74	-61,57	-74,54	-73,62	-97,54	-95,97	-99,83	-94,41	-84,03	-56,95
LULUCF hariç toplam salım	219,72	299,01	336,99	398,68	474,47	500,75	528,31	524,04	508,08	523,90
1990 yılına göre artış (%)	-	36,09	53,37	81,45	115,94	127,90	140,45	138,50	131,24	138,44

Ülkemizde arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık (LULUCF) sektörü azaltım sağlayan tek sektördür. Ancak sektörde ormanlar hâricindeki diğer arazi kullanımları (tarım, otlak, sulak alan, yerleşim ve diğer) salım kaynağıdır ve bu arazilerdeki kullanım değişiklikleri 2020 yılı itibarıyla 2,4 milyon ton CO_2 eşdeğeri salıma neden olmuştur. Buna karşılık ormanlar ve hasat edilmiş orman ürünlerinde karbon birikimi gerçekleşmektedir. Bu iki karbon yutak alanında 56 milyon ton CO_2 eşdeğeri kadar olan yıllık CO_2 birikimi 2017 yılında 102 milyon ton CO_2 eşdeğerine yükselmiş, sonrasında ise azalarak 2020 yılında 60 milyon CO_2 eşdeğerine gerilemiştir (Şekil 2.5) (TÜİK, 2022).

2.3. KARBON DÖNGÜSÜ

Karbon döngüsü; karbon elementinin çeşitli formlarda atmosfer, hidrosfer, litosfer ve karasal ile deniz biyosferlerinden akışını tanımlamak için kullanılmaktadır (Allen ve diğ., 2018; IPCC, 2019). Bu döngü sırasında karbon değişik kimyasal formlarda atmosferde, denizlerde, inorganik olarak kayalar ile toprakta ve canlılar da bulunabilmektedir. Aynı zamanda jeolojik çağlarda oluşan ve yeraltında depolanmış olan ve fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol, doğal gaz ve kaya gazı da karbon içermektedir. Karbon döngüsünde karbonu depolama, biriktirme ya da salma kapasitesine sahip atmosfer dışındaki okyanuslar, ormanlar ve topraklar gibi depo alanlarına karbon rezervuarı adı verilmektedir (IPCC, 2013).

Karbon rezarvuarı kavramına çok benzer olan diğer bir kavram da karbon havuzudur. Ancak karbon havuzu atmosferi de kapsamaktadır. Belirli bir zamanda karbon havuzu ya da rezervuarda tutulan mutlak karbon miktarı karbon stoku olarak adlandırılmaktadır. Karbonun bu havuzlar arasında yer değiştirmesi ise akış olarak tanımlanmaktadır.

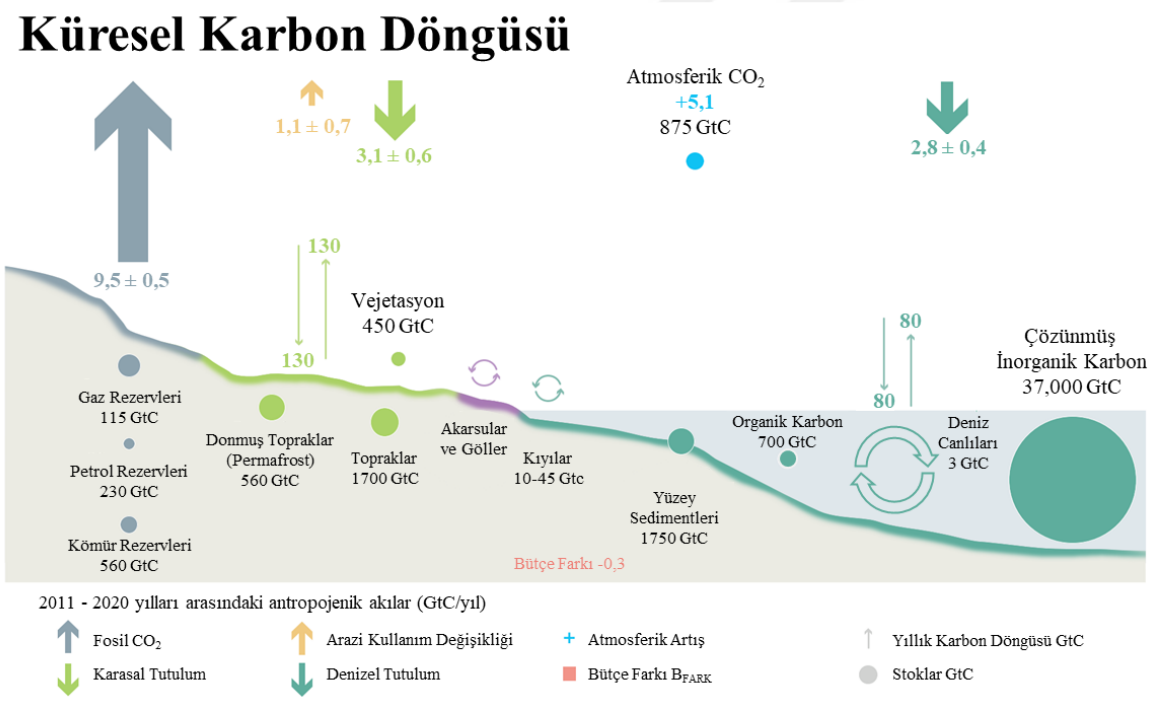


Şekil 2.5: Karbon yutak alanlarınca atmosferden alınan ya da atmosfere salınan CO_2 Miktarları (Tolunay (2021)'den değiştirilerek)

Karbon havuzlarındaki karbon stokları değişkendir ve çeşitli nedenlerle artabilmekte ya da azalabilmektedir. Bir havuzdaki karbon stoklarının artması halinde bu havuz karbon yutak alanı haline gelmekte aksi halde ise salım kaynağı haline dönüşebilmektedir (IPCC, 2013). Örneğin ormanlarda depolanan karbonun atmosfere geri salımı olayları, toprak üstündeki bitkisel kütle artıklarının çürümesi (Natural Resources Canada, 2007) ve toprak içerisindeki karbonun toprak solunumu ile gerçekleşmektedir. Bu noktada eklenmesi gereken bir nokta, orman ekosistemlerindeki karbon salımının, doğal süreçlerin (oksidasyon ve solunumun) yanı sıra, insan faaliyetlerinin kasıtlı veya kasıtsız sonuçlarından (hasat, yangınlar veya ormansızlaşmadan) kaynaklanabildiğidir (UNECE, 2019).

Küresel ölçekte stok halde en fazla karbon bulunan havuz okyanuslardır. Friedlingstein ve diğ. (2022) tarafından okyanuslarda sularda çözünmüş inorganik karbon miktarı 37.000 GtC kadardır. Yazarlar bu havuzda çözünmüş inorganik karbon haricinde sularda 700 GtC kadar organik karbon olduğunu, deniz diplerindeki sedimentlerde 1.750 GtC ve deniz canlılarında 3 milyar GtC kadar karbon bulunduğunu raporlamaktadırlar. Karalarda ise permafrost (donmuş) topraklarda 1.400 GtC ve diğer topraklarda 1.700 GtC hesaplayan yazarlar, yeraltındaki fosil yakıtlardaki karbon rezervinin ise 905 GtC kadar olduğunu belirtmektedir (Friedlingstein ve diğ., 2022). Görüldüğü üzere fosil yakıtlardaki karbon stokları topraklardaki stoklardan daha azdır. Klorofilli bitkiler karbon döngüsünün önemli bir bileşenidir. Bitkiler fotosentez

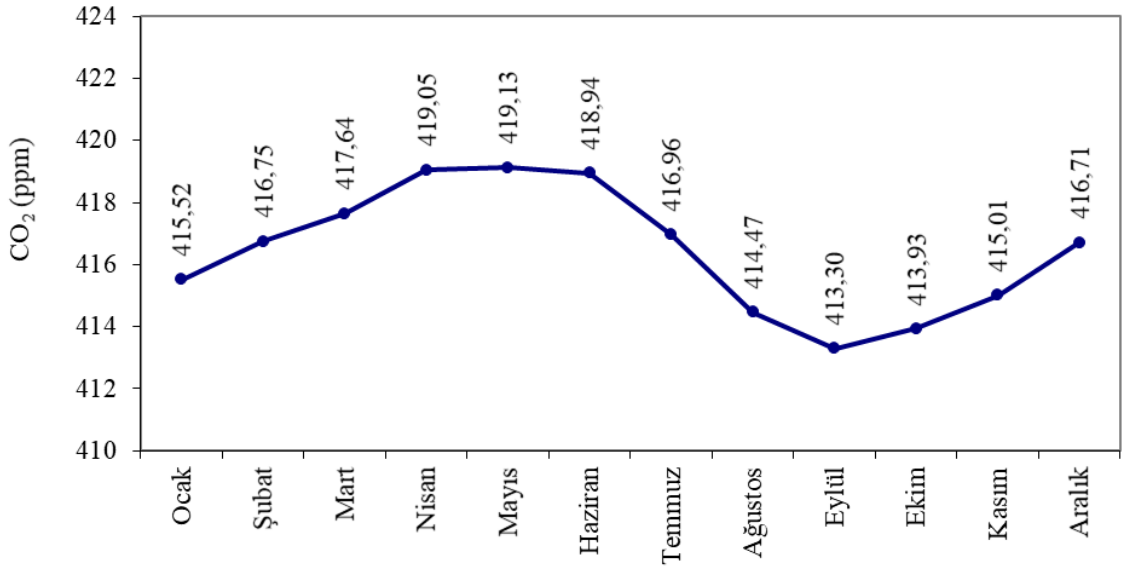
aracılığıyla atmosferden CO_2'yi alarak karbonhidrat ve şeker üretmektedir. Bu nedenle karbon bağlanması açısından önemli olsa da aslında bitkisel kütledeki karbon stokları 450 GtC kadardır ve topraklardaki karbon stoklarından çok daha düşüktür (Friedlingstein ve diğ., 2022). Yazarlar yeraltındaki fosil yakıtların çıkarılarak yakılması nedeniyle 9,5 GtC/yıl kadar salım olduğunu, buna karşılık karalar ve denizlerdeki canlıların fotosenteziyle sırasıyla 3,1 GtC/yıl ve 2,8 GtC/yıl kadar bir azaltım gerçekleştiğini hesaplamışlardır. Karasal ekosistemlerin tahribatı ve arazi kullanım değişiklikleriyle buralardan aynı zamanda yıllık 1,1 GtC kadar bir salım da gerçekleşmektedir. Böylece salım ve yutak alanlarca atmosferden uzaklaştırılan karbon arasındaki fark net olarak 5,1 GtC/yıl kadar olmaktadır (Şekil 2.6). Atmosferdeki CO_2 konsantrasyonları sürekli olarak artmasının nedeni karbon havuzlarınca atmosferden alınan CO_2 miktarının atmosfere verilen CO_2 ve diğer sera gazları miktarından düşük olmasıdır.



Şekil 2.6: Küresel karbon döngüsü (Friedlingstein ve diğ., 2022)

Karbon havuzlarınca atmosferden alınan CO_2 miktarının boyutu atmosferdeki CO_2 konsantrasyonun aylara göre değişiminden daha iyi anlaşılmaktadır (Şekil 2.7). Yıl içinde atmosferdeki CO_2 konsantrasyonları mayıs ayına kadar yükselmekte sonrasında ise eylül ayına kadar düşmektedir. CO_2 konsantrasyonları sonrasında yeniden yükselişe geçmektedir. 2021 yılında konsantrasyonların en yüksek olduğu mayıs ayında atmosferdeki CO_2 konsantrasyonu 419,13 ppm'e kadar yükselmiş, sonrasında eylül ayında 6 ppm kadar azalarak 413,30 ppm

olarak ölçülmüştür (NOAA, 2022). CO_2 konsantrasyonun azaldığı mayıs-eylül dönemi kuzey yarımkürede bitkilerin büyüme dönemidir ve hem bitkiler tarafından hem de bitkilerin artıklarının çürüyerek topraklar ve sularda birikmesiyle karbon havuzları CO_2 konsantrasyonunu 6 ppm kadar azaltmıştır (Tolunay, 2013).



Şekil 2.7: 2021 yılında atmosferdeki CO_2 konsansantrasyonlarının aylara göre değişimi (NOAA (2022)'den yararlanılarak çizilmiştir)

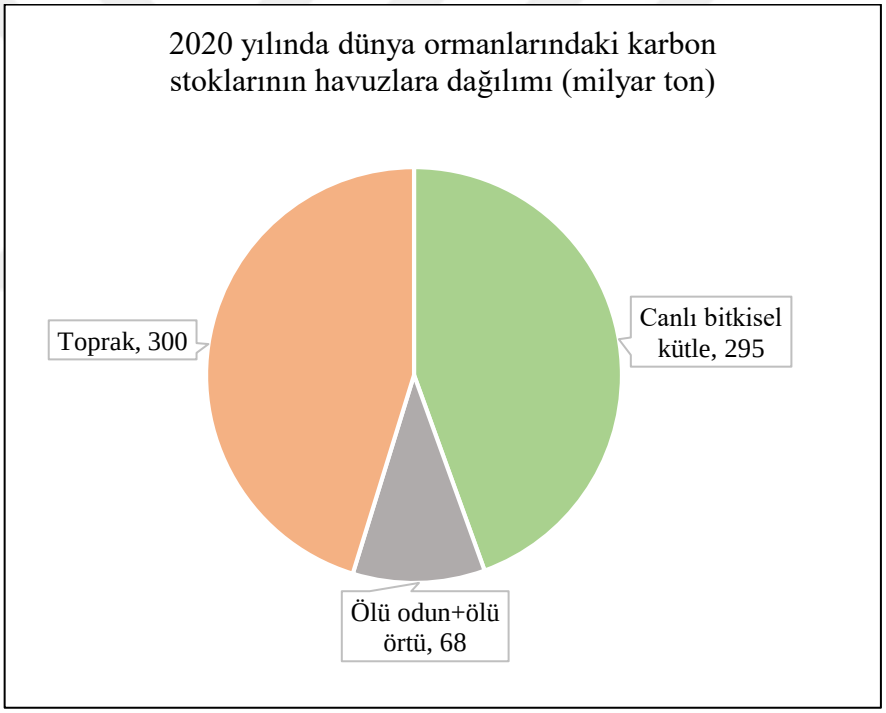
2.4. ORMANLAR VE KARBON

Allen ve diğ. (2018) tarafından yaşayan ya da kısa bir zaman önce ölen organik madde olarak tanımlanan *bitkisel kütle* varlığının küresel ısınma olayı ve ardılı kabul edilen küresel iklim değişikliği özelinde başlıca önemi ise içerdiği karbon oranı ve miktarıdır. Ormanların, atmosferdeki karbondioksiti yakalayarak ve fotosentez yoluyla bitkisel kütleye dönüştürerek karbonu hapsettiği, tutulan karbonun da daha sonra bitkisel kütle, ölü odun, ölü örtü ve orman topraklarında biriktirdiği bilinmektedir (UNECE, 2019). Ormanlardaki karbon havuzları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Dünya yüzölçümünün % 31'ini kaplayan orman alanları sürekli azalmaktadır. FAO (2020a)'ye göre 1990 yılında 4,24 milyon ha olan ormanlar 2020 yılı itibarıyla 4,06 milyon ha'a gerilemiştir. Ancak buna rağmen halen dünyadaki en önemli karbon havuzlarındandır. 2020 yılı itibarıyla küresel ölçekte ormanlarda 295 milyar tonu canlı bitkisel kütlede, 68 milyar tonu ölü odun ve ölü örtüde, 300 milyar tonu da topraklarda olmak üzere 663 milyar ton kadar karbon depolandığı raporlanmıştır (Şekil 2.8) (FAO, 2020a).

Tablo 2.3: Orman karbon havuzları (IPCC, 2003; IPCC, 2006).

Ana Havuzlar	Alt Kategori Havuzlar	Temel Bileşenleri
Canlı Bitkisel Kütle	Toprak Üstü	Toprak üstündeki gövde, kütük, dallar, yapraklar, kabuk ve tohumlar
	Toprak Altı (Kökler)	2 mm çaptan daha küçük kökler hariç canlı bitkisel kütlenin yaşayan tüm kökleri
Ölü Organik Madde	Ölü Odun (Dikili kuru)	Dikili kuru halde tabanda ya da toprakta bulunan tüm odunsu bitkisel kütle. Yüzeyde yatan odun, dikili kurular, ölü kökler ve 10 cm'den daha kalın kökleri içermektedir.
Topraklar	Ölü Örtü	Mineral ve organik toprağın üstünde; en azından 10 cm çapta bir tabaka oluşturabilen tüm ölü odunsu bitkisel kütle, döküntü, humus ve fumik tabakadan oluşmaktadır. Canlı çok küçük kökler de bu bölümde sayılmaktadır.
	Toprak Organik Maddesi	Minerallerdeki organik karbonu ve organik toprakları içermektedir. Canlı çok küçük kökler toprak organik maddesinden sayılır.



Şekil 2.8: Küresel ölçekte ormanlardaki karbon havuzlarında 2020 yılındaki karbon stokları (FAO (2020a)'dan yararlanılarak çizilmiştir)

Daha önce de değinildiği üzere orman alanları dünya genelinde başta tropikal ormanlar olmak üzere sürekli azalmaktadır ve bu durum ormanlardaki karbon stoklarının da azalmasına yol açmaktadır. FAO (2020b)'den elde edilen verilere göre 1990 yılında 668 milyar ton kadar olan ormanlardaki toplam karbon stoku 2020 yılı sonu itibarıyla 662 milyar tona gerilemiştir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4: Ormanlarda bitkisel kütledeki ve toplam (bitkisel kütle, ölü örtü, ölü odun, toprak) karbon stokları ile birim alandaki karbon miktarları (FAO, 2020b)

Ormanlardaki Karbon Havuzları	1990	2000	2010	2020
Bitkisel kütledeki karbon stoku (milyar t)	297,8	295,6	294,1	294,5
Bitkisel kütledeki karbon stoku (t C/ha)	70,3	71,1	71,6	72,6
Toplam karbon stoku (milyar t)	668,4	663,3	662,5	662,1
Toplam karbon stoku (t C/ha)	157,8	159,5	161,3	163,1

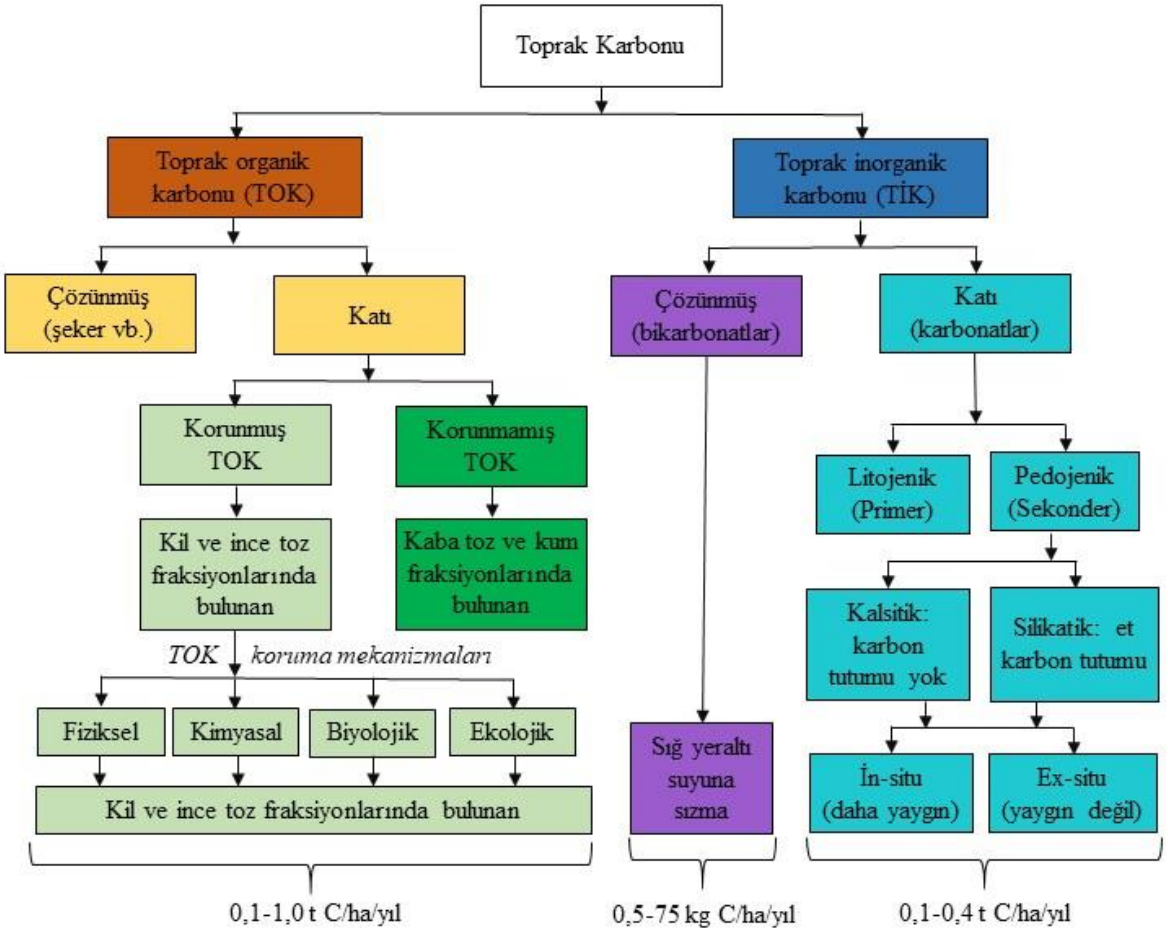
Ülkemiz ormanlarında çeşitli havuzlardaki karbon stoklarının hesaplandığı ilk çalışmalardan Tolunay (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazar 2004 yılında 21,2 milyon ha kadar olan orman varlığını temel alarak canlı bitkisel kütledeki toplam karbon stokunu 480 milyon ton olarak tahmin etmiştir. Aynı çalışmada toplam karbon stokları ölü örtüde 84 milyon ton ve ölü odunda 3,8 milyon ton olarak verilmiştir. Verimli ya da boşluklu kapalı orman ayrımı yapılmadan birim alanda canlı ağaçlardaki karbon miktarının 22,7 t C/ha olarak verildiği çalışmada ölü örtüde 4,0 t C/ha, ölü odunda 0,2 t C/ha kadar bir karbon depolanmış olduğu ifade edilmiştir (Tolunay, 2011). Karabıyık (2014) tarafından farklı yöntemlerle 2002-20125 yılları arasındaki canlı bitkisel kütledeki karbon stokları çalışılmıştır. Buna göre 2002 yılında hesaplama yöntemlerindeki farklılıklar nedeniyle 511 milyon ton ile 522 milyon ton arasında tahmin edilen karbon stoklarının 2012 yılında 598 milyon ton ile 615 milyon ton arasında bulunduğu belirtilmiştir. 2015 yılı orman verileri kullanılarak Tolunay ve diğ. (2018) bitkisel kütledeki karbon stokları 643 milyon ton, ölü örtüdeki karbon stokları 95 milyon ton, ölü odundaki karbon stokları 4 milyon ton ve topraklardaki organik karbon stokları (30 cm derinlik için) 2 milyar ton olarak hesaplanmış, 2015 yılı itibarıyla % 63'ü topraklarda olmak üzere birim alanda 88,9 t C/ha karbon stoku bulunmaktadır (Tablo 2.5).

Tablo 2.5: 2015 yılı itibarıyla ormanlardaki karbon havuzlarında bulunan karbon stokları (Tolunay ve diğ., 2018)

Karbon Havuzu	Toplam Karbon Stoku (t C)	Birim alandaki karbon stoku (t C/ha)	%
Toprak üstü bitkisel kütle	497.199.233	22,3	25,0
Toprak altı (kök) bitkisel kütle	145.569.008	6,5	7,3
Ölü örtü	95.405.738	4,3	4,8
Ölü odun	4.385.145	0,2	0,2
Toprak	1.244.054.621	55,7	62,6
Toplam	1.986.613.744	88,9	100,0

2.5. TOPRAKLAR VE KARBON

Topraklarda karbon inorganik ve organik formda bulunabilmektedir (Şekil 2.9). Toprak inorganik karbonu özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^{+} ve Na^{+} iyonlarının karbonat (CO_3^{-2}) ve bikarbonatlarından (HCO_3^{-2}) oluşmaktadır (Lal, 2016). Stockmann ve diğ. (2013) toprakta bulunan organik karbonu (TOK) çeşitli organik kaynaklardan/kökenlerden elde edilen ve mekânsal olarak toprakta bulunan karbonu tanımlamaktadır. TOK farklı ayrışma aşamalarındaki bitki ve hayvan kalıntıları ve mikrobiyal kütleyle bunların ayrışma ürünlerinden oluşmaktadır (Lal, 2016). Literatürde toprak organik maddesi de sıkça karşılaşılan bir kavramdır. Toprak organik maddesinin yaklaşık olarak % 58 TOK içerdiği ifade edilmektedir (Stockmann ve diğ., 2013).



Şekil 2.9: Toprakta organik ve inorganik karbon havuzlarının çeşitleri. Son satırda listelenen sayısal değerler, çeşitli topraklarda organik ve inorganik karbonun yıllık birikim aralıklarıdır (Lal, 2016).

Okyanuslardan sonra en büyük ikinci karbon havuzu olan topraklardaki karbon stokları için farklı tahminler bulunmaktadır. Örneğin daha önce de değinildiği üzere Friedlingstein ve diğ.

(2022) topraklarda 1.700 GtC ton organik karbon depolandığını açıklamıştır. Buna karşılık Stockmann ve diğ. (2013) toprak organik karbon stoklarının 3 m derinlik için 2.344 GtC, 2 m derinlik için 1.993 GtC ve 1 m derinlik için 1.502 GtC olarak vermektedir. Topraklara organik madde girişi çoğunlukla ölü örtü ve kılcal kök ayrışmasıyla gerçekleştiği için üst derinlik kademelerinde organik karbon çok daha fazladır. Stockmann ve diğ. (2013) ilk 20 cm derinlikte küresel ölçekte 615 Gt karbon depolandığını açıklamaktadır.

TOK taze ölü örtü, karbonhidratlar ve basit şekerler, kompleks organik bileşikler, bazı inert malzemeler ve pirojenik bileşikler dahil olmak üzere organik malzemelerin heterojen bir karışımıdır (Lal, 2016).

TOK oldukça reaktif bir bileşendir ve çok sayıda pedojenik sürecin temelidir. Yüksek yüzey alanı ve elektriksel yük yoğunluğu nedeniyle kil ve minerallerle reaksiyona girerek organo-mineral kompleksleri oluşturur. Stockmann ve diğ. (2013) göre TOK formları literatürde biyolojik kararlılıklarına (kararlı, kararsız, ve zor), bozunma hızlarına (hızlı-aktif, yavaş-orta ve çok yavaş-pasif) ve devir oranlarına (*turnover rate*) göre (kısa, uzun ve çok uzun) sınıflandırılabilmektedir (Tablo 2.6). Organo-mineral komplekslerinin oluşumu TOK'u bin yıl boyunca depolayabilir (Lal, 2016).

Tablo 2.6: Literatürde rastlanan toprak organik karbon biçimleri (Stockmann ve diğ., 2013).

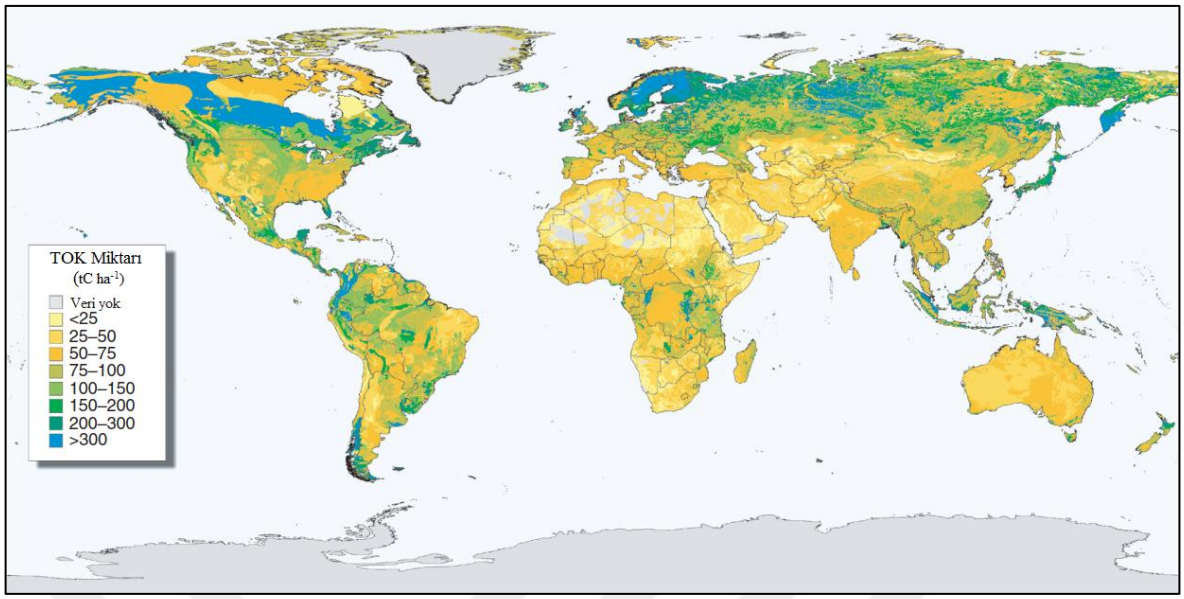
Biçim	Bileşenler	Havuz sınıfı	Ayrışma süresi
Toprak üzerindeki bitki kalıntısı	Ölü örtünün yaprak tabakası ve tarla/mera kalıntıları da dahil olmak üzere toprak yüzeyinde bulunan bitki materyali.	Hızlı (ya da labil) havuz	Günler - Yıllar
Gömülü bitki kalıntısı	Çapları 2 mm'den büyük boyutlarda olan, toprak ile karışmaya başlamış bitkisel materyaller.	Hızlı (ya da labil) havuz	Günler - Yıllar
Partikül organik madde/karbon (POK)	Boyut olarak 2 mm'den küçük ve 50 µm'den büyük, yarı ayrışmış organik materyal.	Hızlı (ya da labil) havuz	Günler - Yıllar
Humus	Toprak partikülleri ile karışmış, boyutu 50 µm'den küçük, iyi ayrışmış organik materyal.	Yavaş (ya da stabil) havuz	Yıllar – On yıllar
Dirençli organik karbon (DOK)	Organik maddenin kimyasal olarak yanması sonucu ortaya çıkan kömür veya kömürleşmiş (biyolojik ayrışmaya dirençli) malzemeler.	Zor ayrışan (ya da pasif) havuz	On yıllar - Yüzyıllar

Toprak organik maddesi sadece karbon depolanması açısından değil bitkisel üretim açısından da önemlidir (Jobbágy ve Jackson, 2000; Kantarcı, 2000).

Ormancılık sektörü özelinde arazi kullanım değişiklikleri kayıp (ormansızlaşma, yasadışı kesimler vb.) ve kazanç (*ormanlaştırma* ya da *yeniden ormanlaştırma faaliyetleri*) ile sonuçlanan iki senaryo ile özetlenecek olursa, bu senaryoların TOK oran ve dinamikleri üzerindeki etkilerinin birçok araştırmaya konu olduğu göze çarpmaktadır. Ağaçlandırma faaliyetlerini takiben, toprak organik karbonu girdilerinin nitelik, nicelik, zamanlama ve mekânsal dağılımında kaçınılmaz olarak değişiklikler meydana geldiğini belirten Paul ve diğ. (2002), alan hazırlığı, önceki arazi kullanımı, iklim, toprak türü, alan yönetimi ve kesime dayalı silvikültürel müdahaleler de dâhil olmak üzere toprak organik karbonu değişiminin derecesini etkileyen birçok abiyotik faktöre dikkat çekmektedir. Tolunay ve Çömez (2007) de ormanı oluşturan ağaç türleri ile yaş, kapalılık, sıklık, karışım oranı gibi meşcere özelliklerinin TOK oranı ve miktarını etkilediğini açıklamaktadır.

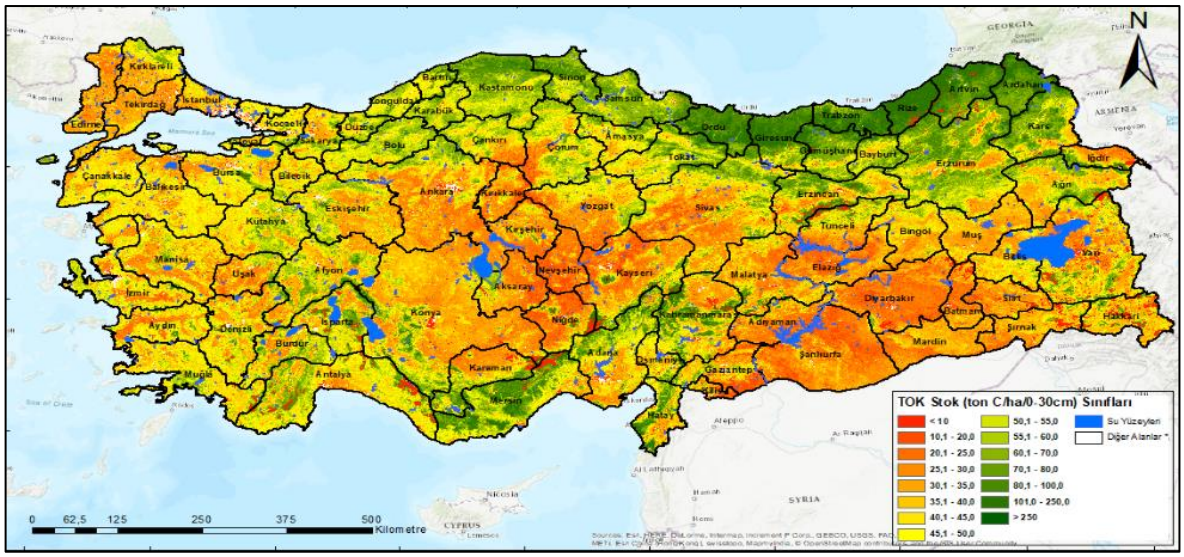
Karbon döngüsünün sayısız alt sisteminden birisi topraklardaki karbon tutma potansiyeline ait itici güçlerin (i) substratların ayrışmasını ve ancak uzun vadede ayrışabilen (recalcitrant) bileşiklerin oluşumunu kontrol eden ölü örtü üretimi ve kalitesi ile (ii) toprakların - özellikle bitki besin maddeleri açısından- durumu olduğu düşünülmektedir (Dalmonech, 2010). Stockmann ve diğ. (2013) işlenen tarım topraklarında karbon tutumunun 'kalıcı' bir artış olarak kabul edilebilmesi için öngörülen bir sürenin genellikle 100 yıl olduğu belirtilmekte, benzer şekilde (orman toprakları de göz önünde bulundurulduğunda) toprak profili ne kadar derin olursa, depolanan TOK'un da o kadar eski olabileceğine dikkat çekmektedir.

Bu bilgileri ışığında, mevcut ekolojik faktörlerin etkisi sonucunda TOK miktarlarının mekânsal olarak değişkenlik gösterebileceği anlaşılmaktadır. Değişmekte olan iklim sistemi neticesinde literatüre yansıyan yorumlar arasında (hızlı ya da yavaş ilerleyen bir) küresel ısınma olayının bir etkisinin de (her bir ekosistemin diğer bir ekosistem ile etkileşimde olabileceğinin kabulü ile) topraklardaki organik maddenin ayrışmasın hızlanması, böylece ısınma eğilimini artıracak olan CO_2'nin atmosfere daha fazla salımının gerçekleşeceği de yer almaktadır (Jenkinson ve diğ., 1991; Davidson ve Janssens (2006)'e atfen Stockmann ve diğ., 2013). Toprak organik karbon miktarlarına ait mekânsal dağılımların büyük ölçüde farklılık gösterebileceği (Scharlemann ve diğ., 2014) Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Toprak organik karbon miktarlarının küresel dağılımı (Scharlemann ve diğ., 2014).

Ülkemizde çeşitli arazi kullanım tiplerindeki TOK konsantrasyonları uzun yıllardır çalışılmaktadır. Bunlardan bazılarında 30 cm ya da 1 m derinlik için TOK stokları da yerel olarak hesaplanmıştır. Ormanlarda yapılan çalışmalar Tolunay ve Çömez (2008) tarafından derlenmiş ve orman topraklarında 1 m derinlik için ortalama 78 t C/ha karbon bulunduğu hesaplanmıştır. Çok daha detaylı bir çalışma Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK-BİLGEM işbirliğiyle gerçekleştirilen "Toprak Organik Karbonu (TOK)" projesidir (ÇEM 2018). Bu proje kapsamında aynı zamanda 30 cm derinlik için TOK haritası da üretilmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: 2007-2017 yılları arasında alınan toprak verileri üzerinden hazırlanan Türkiye toprak organik karbon stok haritası (ÇEM, 2018)

Proje ile ülkemizdeki birim alandaki ve toplam karbon stokları da arazi kullanım sınıflarına göre ortaya konmuştur. Buna göre ülkemiz topraklarındaki organik karbon stoku 3,5 milyar ton kadardır. Bunun 1,3 milyar tonu orman topraklarındadır. Orman topraklarından sonra en fazla TOK stokuna sahip araziler 1,2 milyar ton karbon ile mera ve 0,9 milyar ton karbon ile tarım alanlarıdır. Birim alandaki değerler açısından da orman toprakları 55,68 t C/ha ile ilk sırada gelmektedir (Tablo 2.7) (ÇEM, 2018).

Tablo 2.7: Ülkemizde çeşitli arazi kullanım sınıflarındaki TOK stokları (ÇEM, 2018)

Arazi kullanım sınıfı	Alan (ha)	Toprak Organik Karbon Miktarı (t C/ha)	Toplam Toprak Organik Karbon Stoku (t C)
Orman	24.180.644	55,68	1.346.434.101
Mera	23.568.338	49,77	1.172.981.521
Tarım	26.316.375	35,96	946.317.555
Çıplak Alanlar	1.172.581	12,78	14.981.558
Yapay Alanlar	796.519	16,12	12.838.873
Sulak Alanlar ve Su Yüzeyleri	393.100	49,71	19.542.037
Toplam/Ortalama	76.427.557	45,97	3.513.095.645

2.6. ORMAN TOPRAKLARINDAKİ ORGANİK KARBON MİKTARLARINI BELİRLEME VE TAHMİN YÖNTEMLERİ

Orman ekosistemleri özelinde gerçekleştirilen neredeyse tüm çalışmalarda olduğu üzere, orman topraklarındaki organik karbonun miktar ve devamında oranlarını belirleme ve tahmin yöntemleri de emek yoğun bir çalışma içermektedir. Dışarıdan bakıldığında, TOK çalışmalarının rutin bir arazi çalışması neticesinde alınacak örnekler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarından elde edilebileceği düşünülse dahi; gerek analiz yöntemleri ve ölçüm ekipmanların çeşitliliği, gerekse bu yöntemlerin maddi yönden erişilebilirliği ve gerçeğe yakınlığı hâlen geliştirilmekte olan birçok geleneksel ve yenilikçi yöntem araştırmalara konu olmaktadır.

Toprakta hem organik hem de inorganik karbon formları bulunsa da, arazi kullanımı ve yönetimi tipik olarak organik karbon stokları üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir (IPCC, 2006). Burton ve Pregitzer (2008) ’e göre toprak karbon stoklarına ulaşma yolunda herhangi bir örnekleme faaliyetinde temel hususlar, örneklenen (i) hacim ve yoğunluklarının ve (ii) kazı derinliğinin göz önünde bulundurulmasıdır. Bu noktada eklenmesi gereken bir nokta, yalnızca (fizyolojik ya da mutlak olmak üzere) toprak türlerinin değil, örneklemelerin ilgili orman ekosisteminin (yapılacak ön etütlerin ardından) derinlik kademelerine uygun bir şekilde yapılması yönünde olacaktır. Bu usulün, laboratuvar analizlerinin ardından elde edilecek hassas

ve son verilerin ilgili alanların TOK açısından çeşitli ölçeklerde tartışılmasına katkıda bulunacağı, uygulanan yöntemlerin edinilecek tecrübe ile geliştirilebilmesi ve dolayısıyla veri güvenilirliği açısından daha isabetli sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

2.6.1. TOPRAK ORGANİK KARBONUNU BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Toprak organik karbonu terimini, hızla ayrışan bitki parçalarından mikroorganizmalara kadar değişen ve toprağın hayati bir bölümünü oluşturan karmaşık yapıdaki çeşitli malzemelerin bir karışımı olarak tanımlayan Senapati ve diğ. (2014), toprak verimliliğini ve sürdürülebilirliği büyük ölçüde etkileyebileceğinden bu dinamik yapının irdelenmesinin, kendilerine özgü bir denge durumu da göz önünde bulundurulduğunda, bu yapının gün geçtikçe daha büyük bir öneme sahip olduğunu belirtmektedir. Araştırmacılara göre bu denge durumu, TOK sistemine girdi olarak her daim eklenen bitkisel ve hayvansal artıklardan, organik maddenin ayrışmasının takiben bileşenlerin mineral besin ve gazlar yardımı ile ayrıldığı, yıkandığı ve süzüldüğü (çıktı olarak) süreçlerden oluşmaktadır.

Paul ve diğ. (2002)'ne göre topraklardaki karbon değişimini belirlemek için en isabetli süreç ve yöntem, alandaki toprakları tutarlı bir şekilde örnekleyerek zaman içerisinde tekrar tekrar örnekleme yapmak, laboratuvarda değerlendirilmek üzere hazırlamak ve amaca uygun metotlar ile analiz etmektir. Burton ve Pregitzer'ın (2008) bildirdiği üzere toprak karbon stoklarının periyodik aralıklarla örneklenmesi, olası değişimler üzerinde fikir yürütmek adına akış kuleleri (*flux towers*) ve benzeri teknikler ile ölçülebilen ekosistemlerdeki net karbon değişim çalışmalarının kalibrasyonu, oransal doğrulama/sağlamalara imkân vermesi ve modelleme çalışmalarına yardımcı olacak bilgileri sağlaması gibi sebepler ile önem teşkil etmektedir.

Geçmişten günümüze sayısız çalışmada hem bitkisel materyallerdeki hem de topraklardaki karbon miktarlarını laboratuvarda (*ex situ*) belirlemede kullanılan başlıca iki yöntem grubu ıslak yakma ve kuru yakma başlıkları altında toplanmaktadır. Walkley-Black (Walkley ve Black, 1934) örneğinde olduğu üzere, ıslak yakma yöntemlerinin esasının, ilgili organik maddenin bir asit karışımı ile oksidasyonuna ve ortaya çıkan CO_2'nin titrimetrik (ya da gravimetrik veya manometrik) süreçlerle ölçülmesine dayanmakta olduğunu bildiren Chatterjee ve diğ. (2009) göre alandan toplanan örneklerin kimyasal analizindeki standart kabul edilen (dolayısıyla daha isabetli sonuçlara ulaştıran) yöntem aslında kuru yakma yöntemlerinden ibarettir. Fakat geleneksel kül fırınları benzeri bir yapı ile (tam yanma sonucu ağırlık kaybı prensibinden yola çıkılarak) geliştirilen bu yöntemlerin kullanıldığı cihazlar hızlı sonuç

vermelerinin yanı sıra günümüzde dahi oldukça pahalıdır. Stockmann ve diğ. (2013) de desteklediği üzere TOK içerik ve stoklarının belirlenmesi; geçmiş ve güncel verilerin doğrulanabilirliği (dolayısıyla modelleme ve simülasyon çalışmalarında altlık olarak kullanılabilirliği) ve potansiyel durumun tayini bakımından izleme ve tahmin çalışmalarının geleceği için TOK verilerinin kesinliğe yakın ve uygun maliyetli ölçüm alternatifleri gerektirmektedir. Bir diğer başlık olan ve arazi şartlarındaki ölçümleri içeren (*in situ*) yöntemler arasında ise MIR ve NIR gibi kızılötesi teknikleri kullanan cihazlar; atomik salımlar ile çalışan Lazer Etkileşimli Plazma (LIBS) ve Esnek Olmayan Nötron Saçılımı (INS) teknikleri kullanan spektroskopi cihazları ve çeşitli uzaktan algılama teknikleri yer almaktadır (Stockmann ve diğ., 2013).

2.6.2. TOPRAK ORGANİK KARBONUNU TAHMİN ETME YÖNTEMLERİ VE MODEL KAVRAMI

Küresel ölçekte iklim değişikliğinin toprak karbon stokları üzerindeki etkilerini anlamak için toprak karbon stoklarına ait küresel bir veri tabanına ihtiyaç olduğunu belirten Gianelle ve diğ. (2010) göre çeşitli bölgesel ve ulusal veri tabanları mevcut olsa dahi, bunların yararları ve karşılaştırılabilir metodoloji (hacim ağırlığı, taşlılık, kimyasal analizler vb.) ve yaklaşım (deneme desenleri ve örnekleme derinlikleri gibi) farklılıklar nedeniyle hâlen sınırlı düzeylerdedir. Benzer şekilde, gelecekteki olası TOK değişikliklerinin, iklim ve benzeri yapısal tahminlerde önde gelen bir düzen belirsizliği haline geldiğini belirten Jones ve Falloon (2009), bu nedenle gelecekteki TOK depolamasını belirleyecek faktörleri ve bunların doğasında bulunan belirsizlikleri anlamanın hayati bir önem taşıdığını savunmaktadır.

Arazi çalışmalarından alınan toprak örneklerinin laboratuvar analizleri neticesinde yalnızca ilgili noktalardaki topraklara ait TOK oran ve miktarlarına ulaşılabilmektedir. Fakat geniş ölçekli TOK oran ve takiben miktarlarının belirlenmesi emek ve maddiyat açısından imkânlar dâhilinde değildir. Bu hususta araştırmacılar belirlenen TOK miktarlarından yola çıkarak çeşitli tahmin yöntemleri geliştirmek durumunda kalmıştır. Geleneksel yöntem olarak toprak profil çukurlarından belirlenen TOK stokları ekosistemlere has çeşitli kabuller ile genişletilebilmekte ya da daha bütüncül bir yapı ile haritalama ya da modelleme yoluna da gidilebilmektedir. Sonuç olarak, çeşitli fiziksel ve kimyasal verilere ait tahminlerin oluşturulması adına noktasal ya da alansal toprak profillerinden elde edilen verilerin daha büyük bölgelere yaygınlaştırılması (dışdeğerleme ya da ekstrapolasyon) gerekmektedir.

Zhi ve diğ. (2014)'e göre toprak verileri toprak etüdü örneklerinden (toprak tipi yöntemi), bitki örtüsü tipi haritalarından (vejetasyon tipi yöntemi) veya yaşam bölgesi haritalarından (yaşam bölgesi yöntemi) elde edilebilmektedir. Toprak tipi yöntemi, diğer iki yöntemden daha yaygın bir kullanımda ve Toprak Profil İstatistikleri (SPS) ve CBS tabanlı Toprak Tipi (GST) olmak üzere iki alt yöntemi içermektedir. Araştırmacılara göre SPS yöntemi TOK stokunu örneklenen topraklarda ölçülen karbon yoğunluğunu alanın yüzölçümü ile çarparak hesaplamakta, GST yöntemi ise dijital toprak haritasına dayalı olarak çeşitli toprak türlerinin alanlarını doğru bir şekilde hesaplamakta ve TOK stoklarının mekânsal dağılımı hakkında bilgi sağlayabilmektedir.

Uluslararası standartlarda bir envanter ve tahmin çalışmaları, beraberinde çeşitli usul ve standartları getirmektedir. Örneğin, IPCC raporlamalarına uygun toprak karbon envanterleri, mineral topraklar için TOK stok değişikliklerinin ait tahminleri ve drenaj ve ilgili ekosistemdeki yönetim faaliyetinin neden olduğu gelişmiş mikrobiyal ayrışma nedeniyle organik topraklardan kaynaklanan CO_2 salımlarını içermektedir (IPCC, 2006). Bu hususta yapılacak olan belirleme çalışmaları ulusal ölçekte bir çalışmanın birbirini takip eden yıllar boyunca gerçekleştirilmesi gerektiği için yetersiz kalmaktadır. IPCC, çeşitli periyodlarda, küresel ölçekte verileri içeren raporlara ek olarak bu raporların hazırlanmasında kullanılan yöntemlerin olduğu rehberleri erişime sunmaktadır (IPCC, 2003; IPCC, 2006; IPCC, 2019). Sera gazı salımına neden olan sektöre özel hazırlanan rehberlerin arasında Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanım (TODAK/AFOLU) rehberleri de yer almaktadır.

Ulusal ölçekte bitkisel kütle ve topraklardaki organik karbon miktarının tahmininde (TODAK/AFOLU rehberi, tahmini yapılmak istenen mekânsal ünitelere ait veri içeriğine önem vermektedir. Rehber, ülke bazında sahip olunan veri itibarı ile basitten karmaşığa doğru giden bir yapıda hesaplama imkânı sunmakta ve hiyerarşik düzeyde, Katman (*Tier*) adı altında 3 farklı yöntem serisine yer vermektedir. Rehberde, ilgili ekosisteme ait mineral topraklardaki karbon stoklarındaki değişiklikleri arazi kullanımı kategorisine göre tahmin etme ve uygun katmanın belirlenmesi amacıyla kullanılabilecek genel bir karar ağacı yer almaktadır (IPCC, 2006). TODAK'da tarım, orman, otlak, sulak alan, yerleşim ve diğer arazi kullanım sınıflarındaki çeşitli karbon havuzlarındaki (bitkisel kütle, ölü örtü, ölü odun, toprak) değişimleri ülkeye özgü veri mevcudiyetine göre katmanların tanıtımı Tablo 2.8'de sunulmuştur (IPCC, 2006).

Tablo 2.8: TODAK Rehberinde kullanılan katmanlara ait tanımlar (IPCC, 2006).

Katman 1	Katman 1 yöntemleri, TODAK tarafından denklemlerin ve varsayılan parametre değerlerinin (salım ve stok değişim faktörlerinin) sağlandığı ve kullanımı en basit düzeyde olacak şekilde tasarlanmış hesaplamaları içermektedir. Ülkeye özgü faaliyet verileri kullanılabileceği gibi, Katman 1 için genellikle küresel olarak mevcut olan faaliyet verisi tahminlerini içeren kaynaklar da kullanılabilmektedir. Ormansızlaşma oranları, tarımsal üretim istatistikleri, küresel arazi örtüsü haritaları, gübre kullanımı veya canlı sayısı gibi verileri örneklendirilebilecek bu veriler, genellikle mekânsal yapıları ile kaba değerleri içermektedir.
Katman 2	Katman 1 ile aynı metodolojik yaklaşımı kullanabilen Katman 2, yapılan hesaplamalarda başlıca arazi kullanımı veya hayvancılık kategorileri için ülkeye veya bölgeye özgü verilere dayanan salım ve stok değişim faktörlerini uygulaması ile öne çıkmaktadır. Ülkeye özgü ve tanımlı salım faktörleri, o ülkedeki iklim bölgeleri, arazi kullanım sistemleri ve hayvancılık kategorileri için daha uygundur. Katman 2'de daha yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlük ve ayrıştırılmış faaliyet verileri, tipik olarak, belirli bölgeler ve özel arazi kullanımı veya hayvancılık kategorileri için ülke tanımlı katsayılara karşılık gelmek üzere kullanılmaktadır.
Katman 3	Katman 3, ulusal koşullara göre uyarlanmış, zaman içerisinde tekrarlanan ve yüksek çözünürlüklü faaliyet verileriyle yönlendirilen ve alt düzeyde uygulanmış ulusal (yöresel) modeller ve envanter ölçüm sistemleri dâhil olmak üzere çok daha yüksek dereceli yöntemler kullanmaktadır. Bu yöntemler, alt katmanlara göre daha yüksek kesinlik derecelerine sahip tahminleri sağlamaktadır. Bu tür sistemler, düzenli zaman aralıklarında tekrarlanan kapsamlı alan örneklemelerini ve/veya yaş, sınıf/üretim verileri, toprak verileri ve arazi kullanımı ve yönetim faaliyeti verileri gibi çeşitli izleme türlerini entegre eden CBS tabanlı sistemleri de içerebilmektedir. Arazi kullanımı değişikliğinin meydana geldiği arazi parçaları, en azından istatistiksel olarak, genellikle zaman içinde izlenebilir. Çoğu durumda, bu sistemlerin iklim bağımlılığı vardır ve bu nedenle, yıllar arası değişkenlik ile kaynak tahminleri sağlanmaktadır. Modeller kalite kontrollerinden, denetimlerden ve doğrulamalardan geçmeli ve kapsamlı bir şekilde belgelenmelidir.

Özetlenecek olursa, metodolojik karmaşıklık düzeyini temsil eden bu katmanlardan ilki (*Tier 1*), IPCC tarafından önerilen ülke düzeyinde *varsayılan* değerleri kullanan temel bir yöntemdir. İkinci katmanda (*Tier 2*), ülke düzeyinde *varsayılan*dan ziyade var olan veriler sorgulanmaktadır. Mineral topraklar için arazi kullanımı ve yönetimine bağlı olarak TOK stok değişiklikleri hakkında ülkeye özel veri veya referans TOK stokları oluşturmak için değerlerin olması hâlinde metodoloji 2. katmana ait denklemlerin kullanılmasını tavsiye etmektedir. Bu noktada belirtilmesi gereken bir husus bulunmaktadır. *Mineral* topraklarda her ne kadar bu hiyerarşiye uyulsa da, *organik* olarak sınıflandırılan topraklardaki organik karbon stokları, ilk iki katmanlarda yer verilen yöntemler kullanılarak (organik topraklardan yalnızca yıllık karbon akışını tahmin edilmesi sebebi ile) açıkça hesaplanamamaktadır (IPCC, 2006). Katman 2 ve 3'ün her biri karmaşıklık ve veri gereksinimleri açısından daha zorludur. Örnek vermek gerekirse, organik topraklardaki karbon stokları, ancak Katman 3 yöntemiyle tahmin edilebilmektedir (IPCC, 2006). Katman 3'e ait yaklaşımlar, model sonuçlarının değerlendirilmesi ve bir yerel izleme planının ve/veya modelleme aracının uygulanması dâhil

olmak üzere doğru ve kapsamlı bir yerel tahmin metodolojisinin geliştirilmesine olanak tanıyan önemli miktarda bilgi ve veri gerektirecektir (IPCC, 2006).

Uzun yıllardır çeşitli sistemlerin sadeleştirilmesi ile öncelik verilen bileşenlerin işlevleri üzerinde deneme ve kontrol çalışmalarının yapıldığı modeller, güncel verilerin tahmini için olduğu kadar geçmiş ya da gelecekteki verilerin de tahmini için de sıklıkla kullanılan bir yöntem ve dolayısıyla birer denklemler bütünüdür.

Model teorisi, matematiksel yapıları, bu yapıların unsurları ile ilgili uygun bir biçimsel dilin cümleleri aracılığıyla inceleyen bir matematiksel mantık dalıdır (Sarbadhikari ve Srivastava, 2017). Jahnke ve diğ. (2018) göre geleneksel olarak model teorisi, gruplar ve alanlar gibi cebirsel nesnelerin birinci dereceden özellikleri ile yine birinci dereceden teorilerdeki formüllerin (veya tanımlanabilir kümelerinin) soyut tümleşik davranışları arasındaki etkileşimi incelemektedir. Buradan hareketle, model teorisinin başlı başına bir konu olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından savunulmaktadır. Sarbadhikari ve Srivastava (2017) modellemenin, derin kavramlara sahip ve kullandığı teknikler açısından zengin ve günümüzde oldukça aktif ve zorlu bir araştırma alanı olduğunu belirtmektedir.

Kavramsal çerçevelerinin oluşturulması sonrasında modeller tek ya da çoklu amaçlar doğrultusunda birçok ekosistem tipinde kullanılmaktadır. Benzer biçimde örneğin Torn ve diğ. (2009) göre TOK stoklarının model simülasyonlarının gerçekleştirilmesi yolunda bu stokları kontrol eden faktörlerin yanı sıra nicel ilişkiler ve model testlerinde kullanılmak üzere genişletilmiş veriler gerekmektedir. Araştırmacılara göre, TOK depolamasını geniş mekânsal ve zamansal ölçeklerde çevresel faktörlere bağlamak, karbon döngüsü üzerindeki büyük ölçekli kontroller hakkında fikir edinmeye de yardımcı olacaktır.

Dünya genelinde çeşitli arazi kullanım sınıflarındaki TOK değişimlerini tahmin etmeye yönelik çok sayıda model bulunmaktadır. Çayır ve otlaklar için geliştirilmiş CENTURY (Parton ve diğ., 1987) ve tarım alanları için geliştirilmiş RothC (Coleman ve Jenkinson, 1996) bunlara örnek olarak verilebilir. Bu iki model orman topraklarındaki TOK stoklarındaki değişimleri tahminde de kullanılmıştır (Peng ve diğ., 1998; Fallon ve Smith 2002). Orman toprakları içinse DocMod (Currie ve Aber 1997), Kanada Orman Sektörü Karbon Bütçe Modeli (CBM-CFS3) (Kurz ve Apps 1999; Kull ve diğ., 2019), ROMUL (Chertov ve diğ., 2001; Komarov ve diğ., 2003), Sim-CYCLE (Ito ve Oikawa, 2002), FullCAM (Paul ve diğ., 2003; Paul ve Polglase, 2004), CoupModel (Jansson ve Karlberg, 2004), YASSO (Liski ve diğ., 2005), Orman Bitkisel Kütlesi

ve Ölü Organik Madde Karbon (FBDC) Modeli (Park ve diğ., 2013; Yi ve diğ., 2013) gibi modeller örnek olarak verilebilir. EFISCEN (Nabuurs ve diğ., 2000; Thürig ve Schelhaas, 2006; Schelhaas ve diğ., 2007) gibi bazı bitkisel kütle ile ölü örtü ve ölü odundaki karbon stoklarını tahminde kullanılan modeller TOK stoklarını tahminde diğer modellerden yararlanmaktadır.

CBM-CFS3, YASSO, FullCAM, EFISCEN, CENTURY çeşitli ülkeler tarafından sera gazları ulusal envanter raporlarında topraklardaki karbon stok değişimlerini belirlemekte kullanılmaktadır (Pehlivan, 2017).

Çalışmamızda Durusu kumul ağaçlandırmalarındaki karbon stokları ve bu stoklardaki değişimlerin tahmininde Kanada Orman Sektörü Karbon Bütçe Modeli (CBM-CFS3) ile Orman Bitkisel Kütlesi ve Ölü organik Madde Karbon Modeli (FBDC)'nin kullanılması planlanmıştır. Bu iki modele ait detaylı bilgi yöntem bölümünde verilmiştir. Ancak her iki model de topraklardaki karbon stoklarının tahmininde ölü örtü dökümüyle ya da çeşitli ebatlardaki kök ve odunsu artıklarla topraklara giren organik maddenin zamanla ayrışmasını temel alarak TOK stoklarını hesapladıkları için ölü örtü ayrışmasına değinilmesi de yararlı görülmüştür.

Atmosferden yakaladıkları CO_2'nin büyük bir kısmını ototrofik solunum yoluyla atmosfere geri veren ağaçların bir diğer önemli görevi de asimile edilmiş karbondan canlı doku ve organlar üretmeleri ve yaşlanma süreci ile yaşam süresi dolmuş bu bileşenleri toprağa geri döndürmeleridir (Bernier ve diğ., 2008). Toprak üzerinde biriken bu yapıya literatürde ölü örtü adı verilmektedir. Jones ve Falloon (2009) 'a göre bitkisel ölü örtüdeki değişimler (hayvansal artıkların dışında ele alınan), atmosferik CO_2 yoğunluğunun artması ve azot döngüsündeki değişikliklerin kök/sak oranlarına etki etmesi sebebi ile bitkisel kütle çalışmaları açısından önemlidir. Çeşitli yazarlara atfen, ölü örtü dinamiklerinin orman ekosistemlerinde besin döngüsü ve enerji transferinin önemli bir yönünü oluşturduğunu ve ölü örtü dökümünün yönetilen ormanların büyüme oranı ile yakından ilişkili olduğunu bildiren Kavvadias ve diğ. (2001) bu sürecin bitki besin maddelerinin toprağa dönüşü için temel bir yol olması ve orman ekosistemlerinin büyümesi ve üretkenliğinin esas olarak ölü örtünün miktarına, yapısına ve ayrışma hızına bağlı olduğunu belirtmiştir.

Organik maddenin ayrışmasının küresel karbon döngüsündeki ana süreçlerden biri olduğunu ve bu olay sonucunda neredeyse fotosentezin yaptığı kadar bir karbon devrinin gerçekleştiğini bildiren Berg ve McClaugherty (2020), karbon ve diğer toprak bazlı besin döngüleri için

önemine rağmen ayrışma olaylarının hâlen fotosentez kadar iyi anlaşılmadığını savunmaktadır. Bu sorunu ayrışmanın tanımlanmasının fotosentezden daha zor olduğu ile açıklayan araştırmacılara göre geniş bir tanımla, ayrışma, organik maddeyi giderek daha kararlı biçimlere dönüştüren fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmaları içermektedir.

Ölü örtünün ayrışması, orman ekosistemlerinin besin dinamiklerinde kilit bir süreç olarak gören Cotfuro ve diğ. (2000) bu süreç sayesinde döküm sonucu hareketsiz hale gelen bitkisel besin maddelerinin mineralize olması ve bitki alımına uygun bir biçimde toprağa salımı gerçekleşmektedir. Ayrışma sürecinin ikinci ana çıktısının, hem hücresel hem de hümik bileşenleri içeren toprak organik maddesinin oluşumu olduğunu bildiren araştırmacılar, organik karbonun topraklarda birikme hızının, birincil üretim ve ayrışmanın bir fonksiyonu olarak açıklamaktadır.

Doğal ekosistemlerdeki bitkisel ayrışma olayını bitkisel ölü organik materyalin kendisini oluşturan parçalara ve nihayetinde karbondioksite (CO_2); amonyum (NH_4), kalsiyum (Ca^{+2}), potasyum (K^+) gibi inorganik iyonlara ve hâlihazırda ayrışan organizmalar tarafından asimile edilen diğer elementlere ayrıldığı süreç olarak tanımlayan Robertson ve Paul (2000), bu olayı sürecin çeşitli safhalarında ayrışan organik maddenin kendileri de ölecek ve ayrışacak olan diğer organizmalar tarafından tüketilmesi ve metabolizmalarına katılması sebebi ile biyojeokimyasal besin döngülerini tamamlayan karmaşık bir dizi fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileşimi içeren dinamik bir süreç olarak açıklamaktadır.

Flanagan ve Van Cleve'e (1983) göre C/N, lignin, tanen içeriği ve benzeri özelliklerin tamamı organik substratların ayrışma oranlarını değiştiren, mikrobiyal aktiviteyi ve bitkiler tarafından mineral salımını ve alımını doğrudan etkileyen özelliklerdir. Dolayısıyla doğal ya da insan etkili faaliyetler (arazi kullanım değişiklikleri gibi) sonucunda yerel veya komşu ortam şartlarında yaşanacak bir değişim, ayrışma olayları üzerinde etkin faktörleri de kapsayacağından, bu değişimi takiben ekosistem düzeyindeki süreçler de çeşitli ölçeklerde etkilenebilmektedir.

Modellenmesi amaçlanan ekosistemin yapısına bağlı olarak tahminlerin belirlenmesinde yapraklar/ibreler, dallar, gövde kabukları, palamut ve kozalaklar gibi vejetatif bitkisel kütle elemanları gibi ağaç bileşenlerinden faydalanılmaktadır. Kullanılan yöntemler ölü örtünün bir bütün ya da bileşenlerine ayrılarak irdelendiği fiziksel veya kimyasal miktar ve oranları içerebilmektedir. Fakat Ortiz ve diğ. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada belirtildiği üzere, ölü örtü üretim miktarlarının genellikle belirsizliğini koruması, bu durumun topraktaki

karbon stok değişikliklerinin olduğundan daha az veya fazla tahmin edilmesi ile sonuçlanabilecektir. Benzer şekilde iklim faktörünün (dönemsel eğilimleri sebebi ile) ortalama ölü örtü girdisi ve oranları üzerindeki etkisinin göz ardı edilmesi, hem ulusal hem de bölgesel düzeylerde topraktaki karbon stoku değişikliği tahminlerinin çeşitli etkilerin altında kalması sonucunda peşin hükümlü olmasına yol açabilmektedir (Ťupek ve diğ., 2015).

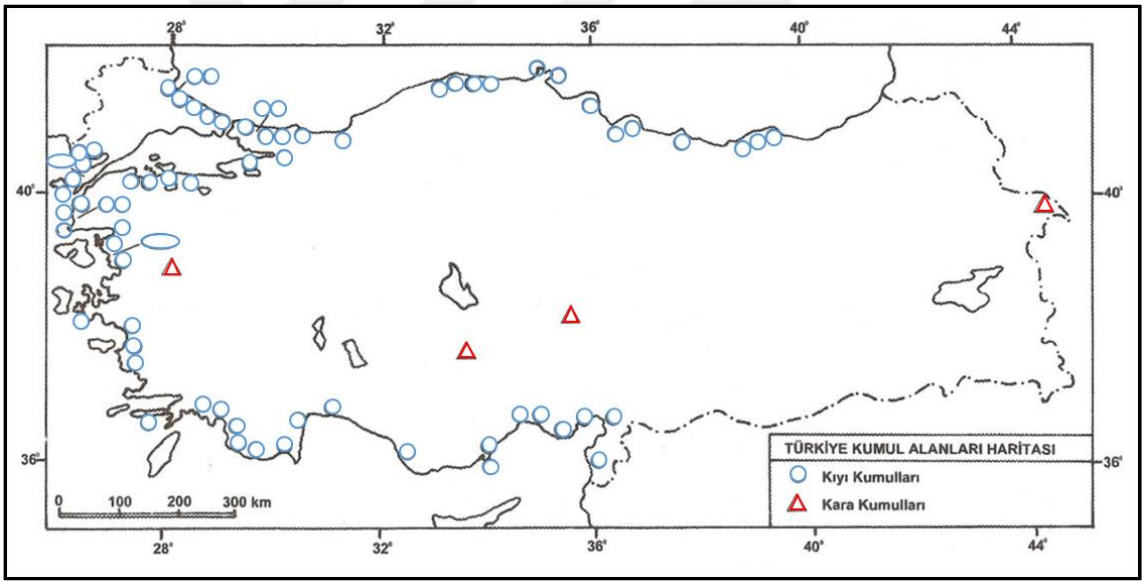
Ülkemizde bu iki modelin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan Lee ve diğ. (2016a) tarafından FBDC modeli ile Sündiken Dağlarındaki sarıçam ormanlarının topraklarındaki karbon stoklarının yaşa bağlı olarak değişimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yine FBDC modelinin kullanıldığı başka bir çalışmada Trakya'daki baltalık meşe ormanlarındaki karbon depolaması modellenmiş ve modelle arazide ölçülen değerler karşılaştırılmıştır (Lee ve diğ., 2018). Ülkemizde CBM-CFS3 modelinin kullanıldığı iki araştırmaya ratlanmıştır. Şatır (2017), Eskişehir Arıkaya'da farklı orman amenajman senaryolarının karbon dinamikleri ve stokları üzerindeki etkisini değerlendirmiş, Özkan (2021) ise Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüklerinde modelin varsayılan katsayıları kullanarak çeşitli karbon havuzlarındaki karbon miktarlarını CBM-CFS3 modelini kullanarak tahmin etmiştir.

2.7. KUMUL EKOSİSTEMLERİ VE KUMUL AĞAÇLANDIRMALARI

Kumullar adından da anlaşılacağı üzere toprağın tane çapları 2-0,02 mm arasında olan kumlardan oluşan ekosistemlerdir. Kumullarda çoğunlukla kumları birbirine bağlayacak organik madde veya kil gibi materyaller bulunmadığı için çoğunlukla hâkim rüzgârlarla kum taneleri taşınabilmektedir. Taşınma ile birlikte kum tepeleri oluşabilmekte, kumulların ilerlemesiyle tarım alanları ve su kaynakları kumların altında kalabilmektedir.

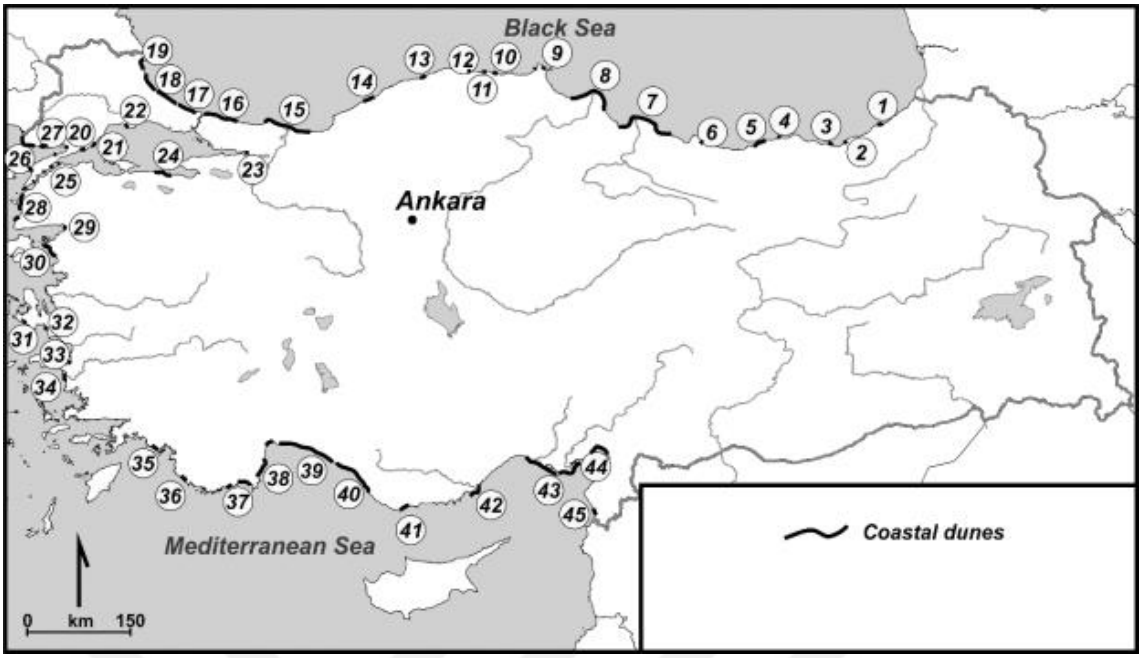
Oluştukları yer ve oluşum şekillerine göre kara kumulu ve sahil (veya kıyı) kumulu olarak ikiye ayrılan kumulları çeşitli araştırmacılar tarafından farklı şekillerde tanımlanmışlardır. Büyükyıldırım (1961), kumulları, "Rüzgârla kumları savrularak veya kum tepeleri teşkil ederek ilerleyen ince kumlu geniş alanlar" olarak tanımlamıştır. Atay (1972) ise kumulları, "içerisinde humus, kil gibi bağlayıcı maddeler olamayan veya az olan, taneleri çok küçük ve kuru halde iken eğer üstlerinde ölü veya diri koruyucu bir örtü bulunmaz ise, rüzgâr vasıtasıyla harekete geçerek bir yerden diğer bir yere taşınan kumlar" şeklinde tanımlamıştır.

Türkiye'nin 8.333 km olan kıyı şeridinin birçok noktasında kıyı kumulları bulunmaktadır. Erinç'e (2001) atfen Ertek (2011), Türkiye'de 75'i kıyı, dördü kara kumulu olmak üzere toplam 79 adet kumul alanı olduğunu bildirmektedir (Şekil 2.12). Avcı ve diğ. (2015) ise ülkemizdeki kıyı kumulu sayısının 45 olduğunu belirtmektedir (Şekil 2.13). OGM (2014) tarafından ülkemizdeki kıyı kumullarının toplam alanının 46.583 ha olduğu ve bu miktar ile ülkemizin Avrupa'nın en geniş kıyı kumuluna sahip ülkesi olduğu ifade edilmektedir. % 0,6'sı kumullarla kaplı olan ülkemizin en fazla kumul alanına sahip bölgesi 21.611 ha ile Akdeniz Bölgesi'dir (Polat ve Polat, 2014). Buna karşılık Avcı ve diğ. (2015) bildirdiği üzere yaklaşık uzunluğu 1.017 km olan kıyı kumulları kıyılarımızın %12,2'sini oluşturmaktadır. Alan olarak en geniş kumullar Akdeniz Bölgesinde olsa da Ertek (2011)'e göre 27, Avcı ve diğ. (2015)'e göre 19 kumul ile en fazla kumul Karadeniz kıyı şeridindedir. Ülkemizin kuzeyinde yer alan kıyı kumulları 422 km, Akdeniz kıyılarında yer alan kumullar 390 km, Ege kumulları 123 km ve Marmara denizi kıyılarındaki kumullar 82 km sahil şeridine sahiptir (Avcı ve diğ., 2015).



Şekil 2.12: Erinç (2001)'e göre Türkiye'de bulunan kıyı ve kara kumulları (Ertek, 2011).

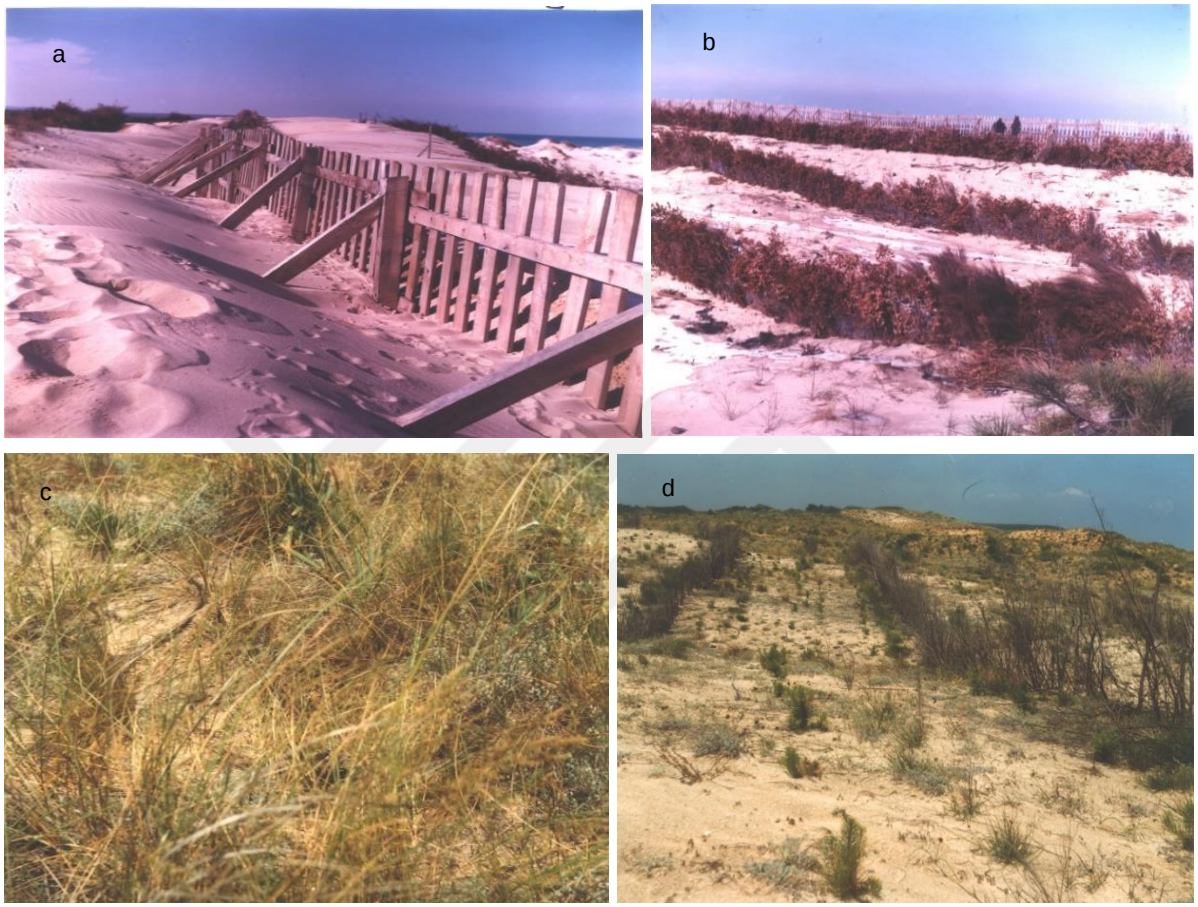
Ülkemizde kumul hareketlerinin durdurulması için gerçekleştirilen ilk çalışma 1885-1887 yılları arasında Terkos tesislerini işleten "Dersaadet Anonim Şirketi" adlı firma tarafından 0,8 ha kadar bir alanda sahil çamı (*Pinus pinaster* Aiton.) türü kullanılarak yapılan ağaçlandırmadır (Atay, 1964; Sertok, 2007). Ancak ağaçlandırma çalışmaları küçük bir alanla sınırlı kalmıştır.



Şekil 2.13: Avcı ve diğ. (2015)'e göre Türkiye'de bulunan kıyı kumulları.

Cumhuriyet sonrasında Irmak (1943) tarafından kumulların sabitlenmesi ve ağaçlandırmalarına değinilen bir çalışma yapılmıştır. Kumul hareketlerinin önlenmesine yönelik çalışmalar OGM tarafından 1952-1953 yıllarında Karadeniz kıyısındaki Ağva (Şile), 1954-1955 yıllarında ise Akdeniz kıyısındaki Sorgun (Side) ve Ovagelmiş (Kalkan) kumullarında başlanmıştır. Sorgun (Side) ve Ovagelmiş (Kalkan) kumullarındaki çalışmalar Büyükyıldırım (1961) tarafından yayınlanmıştır. Atay (1964) tarafından da Sorgun ve Durusu kumullarının stabilizasyonu için araştırmalar yapılmış, ağaç türü denemeleri oluşturulmuştur. Durusu kumulu özelinde 1959 yılında *Pinus pinaster* Ait., *Pinus pinea* L., *Pinus brutia* Ten., *Pinus nigra* Arnold, *Cupressus sempervirens* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn subsp. *barbata* (CA Mey.) Yalt., *Fraxinus oxycarpa* Bieb., *Populus x euroamericana* (Dole) Guinier, *Acer negundo* L., *Platanus occidentalis* L., *Castanea vesca* Gaertn. ve *Robinia pseudo-acacia* L. türleri ile deneme ağaçlandırmaları yapılmış ve bunlardan *Pinus pinaster* Ait. ve *Pinus pinea* L. türlerinin Durusu kumulunda daha iyi sonuç verdiği ortaya konmuştur (Atay, 1964). Beşkök ve Kayın (1966) tarafından kumulların sabitlenmesi ve rüzgâr perdelerinin kullanımı hakkında bir rapor yayınlanmış, bu tecrübe ile Beşkök (1966) tarafından ülkemizde gerçekleştirilecek bir de ön etüt raporu çıkartılmıştır. İlk çalışmalarda öncelikle kumul hareketlerinin durdurulması için rüzgar perdeleri kullanılmış, kumul sabitlendikten sonra *Ammophilla arenaria* (kum yulafı), *Isatis arenaria, Ammophilla brevilligulata, Allium* sp. ve *Sarathommus scoparius* (Poruk) türlerinin tohumları sabitlenen kumullara atarak çayırlandırma aşamasına geçilmiştir.

Çayırlandırma başarılı olduktan sonra denemelerde başarılı bulunan ağaç türleriyle ağaçlandırmalar başlamıştır (Atay, 1964; Anonim, 1967; İstanbul OBM, 1968; OGM, 1968; OGM, 1971; Atay, 1972; Saatçioğlu ve diğ., 1978; Saraçoğlu ve Bozkuş, 1996; OGM, 2013; Sertok, 2007) (Şekil 2.14). Akdeniz Bölgesindeki kumullarda ise ağırlıklı olarak *Pinus pinea* ve Kıbrıs akasyası (*Acacia cyanophylla* L.) türleri kullanılmıştır (OGM, 1985; Atay, 1985).



Şekil 2.14: Durusu Kumulunda kullanılan a) tahta rüzgar perdeleri, b) saz ve çalılardan oluşan rüzgar perdeleri, c) çayırlama d) Çalı perde aralarına 2,5 m aralıkla dikilen sahil çamı fidanları (Fotoğraflar OGM (2003) Arşivinden alınmıştır)

Ülkemiz orman rejiminde bulunan kumulların sabit hâle getirilmesi ve ağaçlandırılması görevi uzunca bir süredir Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından üstlenilmiştir. İlk örneklerinin Terkos, Kaş, Fethiye ve Tarsus yörelerinde yapıldığı bu çalışmalardan günümüze kadar 13.283 hektarda kıyı kumul tespit çalışmaları yapılmıştır (OGM, 2013). Yapılan envanter çalışmalarından DPT Ulusal Çevre Eylem Planı'na (1997) göre 1961 ve 1990 yılları arasında 10.672 hektarlık bir kumul alanı (Türkiye kumullarının %29,1'i) ağaçlandırılmıştır.

Hareketli yapıları itibarı ile çevrelerindeki arazilere zarar verme ve hatta istila etme eğiliminde olan kumulların hareketlerinin engellenmesinden ziyade eşsiz yapıları sebebi ile korunmaları

da gerekmektedir. Zira kıyı kumulları, Rust ve Illenberger'e (1996) göre, sahip oldukları güncel biçimleri (vejetasyon sahibi olmaları) ve büyüme organlarına (trans-agresif kumullar) bağlı olarak *çok hassas*tan *dirençli*ye varan geniş yelpazeli bir hassasiyete sahiptirler. Bu gibi bir yapıda iken kıyı kumulları, varlıklarını çevreye zarar vererek sürdürebilmekte veya Ulusal Çevre Eylem Planı'nda da (DPT, 1997) belirtildiği üzere özgün karakterlerinden uzaklaşarak hızla yok olabilmektedirler. Kumulların bir ekosistem karakteri bakımından yararlı veya zararlı konumunda olmaları, karşılaştıkları veya maruz bırakıldıkları etkenlere bağlıdır.

Hâkim rüzgâr tarafından yönlendirilen hareketin devamında rüzgârın etkinliği ve kum taşınım ilişkileri Öztürk ve diğ. (2011) tarafından Bozcaada'da çalışılmıştır. Taşınan, biriken ve taşımanın devamı hâlinde depolanarak yatay eksende ilerleme hızı oldukça düşen bu yapının toprak olarak tanımlanabilmesi tartışmaya açık bir konudur. Bu hususta Blume ve diğ. (2016) arenosol olarak da tanımlanan ve nemli iklimlerde sabit sahil kıyıları veya iç kumullar hâlinde düzensiz olarak bulunan bu yapıyı toprak kabul ederken, yer değişimi süreklilik arz eden kara kumullarının toprak olarak kabul edilmemesi gerektiğini savunmaktadır.

Blume ve diğ. (2016) bildirdiği üzere kumullar gelişimlerinin erozyon ve sedimantasyon süreçleriyle kesintiye uğraması sebebiyle genellikle çok genç, dolayısıyla zayıf bir gelişime maruz kalmış topraklara sahiptir. Ek olarak, hâkim rüzgârın etkisi ile daimi bir birikimin ve kumullarda gözlemlenen ekosisteme özgü coğrafi şekil (yamaç oluşumları sonucu) ve yükselti farklarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Erozyon sonucu yamaçlardaki toprak-vari birikimlerin üretkenliği farklılaşabileceği gibi özellikle rüzgâr erozyonu sonucu deflasyon alanlarındaki üstten taşınan materyalin çökelme alanlarındaki toprakların bünyesine katılması, ve hatta olgunlaşmamış toprak aşamasındaki birikimlerin yine rüzgâr erozyonu sebebi ile başka bir alanda gelişen topraklar veya taşınan kum yığınları tarafından gömülmesi de rastlanan bir durumdur (Blume ve diğ., 2016).

Sınırlarımız dâhilinde olan kara ve kıyı kumul ekosistemleri, 1985 yılından bu yana yükseköğretim çalışmalarına sık denilebilecek bir yoğunlukta konu olmaktadır. Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığına bağlı Tez Merkezi (https://tez.yok.gov.tr/) çevrimiçi ağında tez adı, konu, dizin ya da özet gözetilmeksizin yapılan aramalarda içerisinde (bir ekolojik birim olarak) kumul teriminin geçtiği 140'a yakın yüksek lisans ve doktora çalışmasına rastlanmaktadır. Bu çalışmalara Arkeometri, Biyoloji, Botanik, Çevre Mühendisliği, Coğrafya, Deniz Bilimleri, Genetik, İnşaat Mühendisliği, Jeodezi ve Fotogrametri, Jeofizik Mühendisliği,

Jeofizik Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği, Maden Mühendisliği ve Madencilik, Makine Mühendisliği, Metalurji Mühendisliği, Mühendislik Bilimleri, Ormancılık ve Orman Mühendisliği, Peyzaj Mimarlığı, Şehircilik ve Bölge Planlama, Turizm, Ziraat ve Zooloji disiplinleri altında yer verilmektedir. İlgili çalışmaların anahtar kelimelerinin belirtildiği dizin kısmında ise bu çalışmaların çoğunlukla ağaçlandırma; alan ve arazi kullanımı; bitki çeşitliliği, coğrafyası, ekolojisi, koruması, örtüsü ve sosyolojisi; biyoçeşitlilik ve biyoekoloji; coğrafi bilgi sistemleri; coğrafya; ekoloji; ekolojik çevre, etki ve faktörler; ekoturizm; erozyon; fiziki coğrafya; flora; iklim; jeomorfoloji; kıyı koruması, kullanımı ve planlaması; peyzaj analizi, ekolojisi, mimarlığı ve planlama; toprak; toprak özellikleri ve turizm konularında olduğu göze çarpmaktadır.

Oluşum ve gelişimleri itibarı ile aslında çok farklı bir ekosistem olan kıyı kumulları, Avcı'nın (2005) da değindiği üzere birçok endemik ve hatta nâdir bitki ve bitki topluluklarını içlerinde barındıran özel ve önemli bir vejetasyona sahiptirler. Örneğin Side canavar otu (*Orobanche sideana* GILLI.) ülkemizde sadece Side (Manavgat) kıyı kumullarında yayılış göstermektedir (OGM, 2012). Benzer şekilde, Akyatan (Adana) yöresindeki denizle lagün arasında yer alan kumullar, özellikle zakkum (*Nerium oleander* L.) veya kirpi dikeni (*Echinops* sp. L.) gibi bitkiler açısından büyük bir önem teşkil etmektedir (Ünal, 2013). Bu bölgeyi tamamı ile içine alan ve bir Ramsar Alanı olan Göksu Deltası'nda toplam 442 bitki türü tespit edilmiş olup, bunlardan 8 tanesi endemiktir. Türkiye'ye endemik ve çoğunluğu kumul bitki örtüsüne ait bu türlerin başında ak çeyçe (*Stachys pseudopinardii* BHATTACHARJEE ET HUB.-MOR.), karga topalağı (*Aristolochia krausei* P. H. DAVIS.), kum bromu (*Bromus psammophilus* P. M. SMITH), tarla sümbülü (*Bellevalia modesta* WENDELBO) ve yabani pancar türleri (*Beta adanensis* PAMUK. APUD AELLEN ve *Beta trojana* PAMUK. APUD AELLEN) yer almaktadır (Çağırankaya ve Meriç, 2013). Buna benzer tipte elzem vejetasyon elemanlarının önemi ve karşılaşabileceği tehditlere Avcı ve Avcı (2001) tarafından yapılan Filyos (Zonguldak) limanı projesi incelemesinde değinilmiştir. Ayrıca Yılmaz ve Serbest (2005) örneğinde olduğu gibi, yalnızca vejetasyonla kısıtlı kalmayarak, kumulların üzerindeki çevresel etkilerin bütünüyle araştırıldığı çalışmalar da devam etmektedir.

Kumul ekosistemlerinde yer alan zengin bitki örtüsü varlığının bir sonucu olarak, ülkemizde yapılan birçok kıyı kumulu vejetasyon tayini bulunmaktadır. Tüfekçi (1992) Akyatan (Adana) kumullarında, Kavgacı (2007) İğneada (Kırklareli) kıyı kumullarında; Karabacak ve diğ. (2008), Erginal (2008) tarafından incelenmiş Bozcaada kumullarından birisi olan Batıburnu

kumulunda; Şekerciler ve Ketenoğlu (2011) Kıbrıs'ın kuzey doğusundaki Karpaz Bölgesi'nin Milli Park alanında yer alan kuzey kumullarında, Kayıkçı ve diğ. (2012) Hatay il sınırları dâhilinde olan kumullarda, Ulu Ağır (2013) Samsun kıyı kumullarında araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu tayinlere ek olarak, Alphan (1998) örneğinde olduğu üzere, kumulların komşu ekosistemlere olan biyolojik çeşitliliğe dair katkılarının bulgular arasında yer aldığı çalışmalar da göze çarpmaktadır.

Kumullar üzerine yapılan çalışmalar arasında, kumullardaki bitki örtüsü - toprak ilişkileri konularına ek olarak, ağaçlandırma çalışmalarının toprak verimliliği üzerindeki etkileri de bulunmaktadır. Bu konuları Öztürk (1991) Karakum (Datça) kumulunda; Yeşilkaya ve Neyişçi (1991) Akdeniz Bölgesi'nin batısında yer alan Sorgun, Kadriye-Belek, Mavikent, Sülüklü, Ovagelemiş ve Kumluova kumullarında; Ürgenç ve diğ. (1994) Belek (Antalya) sahil kumulunda; Saraçoğlu ve Bozkuş (1996) Durusu kumulunda; Karaer ve diğ. (1997) Batı Karadeniz Bölgesi'nde; Serteser (1999) Akyatan (Adana) kıyı kumullarında; Atmaca ve Yılmaz (2006) Turan Emeksiz kıyı kumul ağaçlandırma alanında; Boyraz ve Cangir (2009) Yıldız ormanı (Kırklareli) üzerinde yer alan tipik toprakların sınıflandırılması sırasında karşılaştıkları kısmen kumullar üzerinde oluşmuş sığ topraklarda çalışmışlardır.

Kumul ekosistemlerinin maruz bırakıldıkları ve dolayısı ile onları peyzajın istilacı bir aktörü konumuna sokabilen etkilerin birçoğu antropojen kökenlidir. Bu etkilere dair gözlemlenen olgulardan biri de arazi örtüsü/alan kullanım değişimleridir. Hacıkadiroğlu (1999) tarafından Kaş-Kumluca (Antalya) ilçeleri arasındaki, Efe ve Demir (2007) tarafından ise Tuz gölü (Karataş) çevresindeki arazi kullanımı değişiminin kumullara olan etkisinin incelenmesi bu konuyu irdelemektedir. Bu değişimlerin tayininde modern teknolojinin imkânlarından da yararlanılmıştır. Berberoğlu ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen, Doğu Akdeniz Bölgesi'ndeki sahil kumullarında tarımsal yayılım sonucundaki arazi örtüsü/alan kullanımı değişimlerinin saptanmasına yönelik yeni bir uzaktan algılama yaklaşımı ve aynı bölgede araştırma yapan Doygun ve diğ. (2003) ve Çelik ve diğ. (2013)'nin farklı uzaktan algılama teknikleri kullanarak yaptıkları incelemeler mevcuttur. Kumulların tehdit ettiği komşu ekosistemleri inceleyen çalışmalar yapılmaya halen devam etmektedir. Araştırma alanı özelinde, Baylan ve Karadeniz (2006) bu konu üzerine yoğunlaşarak Durusu (Terkos) Gölü örneği ile doğal ve kültürel çevrenin korunması ve geliştirilmesi üzerine bir araştırma ortaya koymuştur.

Bu çalışmaların haricinde, çeşitli araştırmacılar tarafından kumulların sağladığı diğer fiziksel imkânların da değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Bunlar arasında Kilyos bölgesi kumlarının değerlendirme olanaklarının araştırması ile Önal (1981), Antakya-Samandağ kıyı kumullarında sürdürülen tarımsal faaliyetlerinin kaynak kullanım planlaması yönünden incelenmesi örneği ile (Pektaş, 2011) ve benzeri çalışmalara rastlanmıştır.

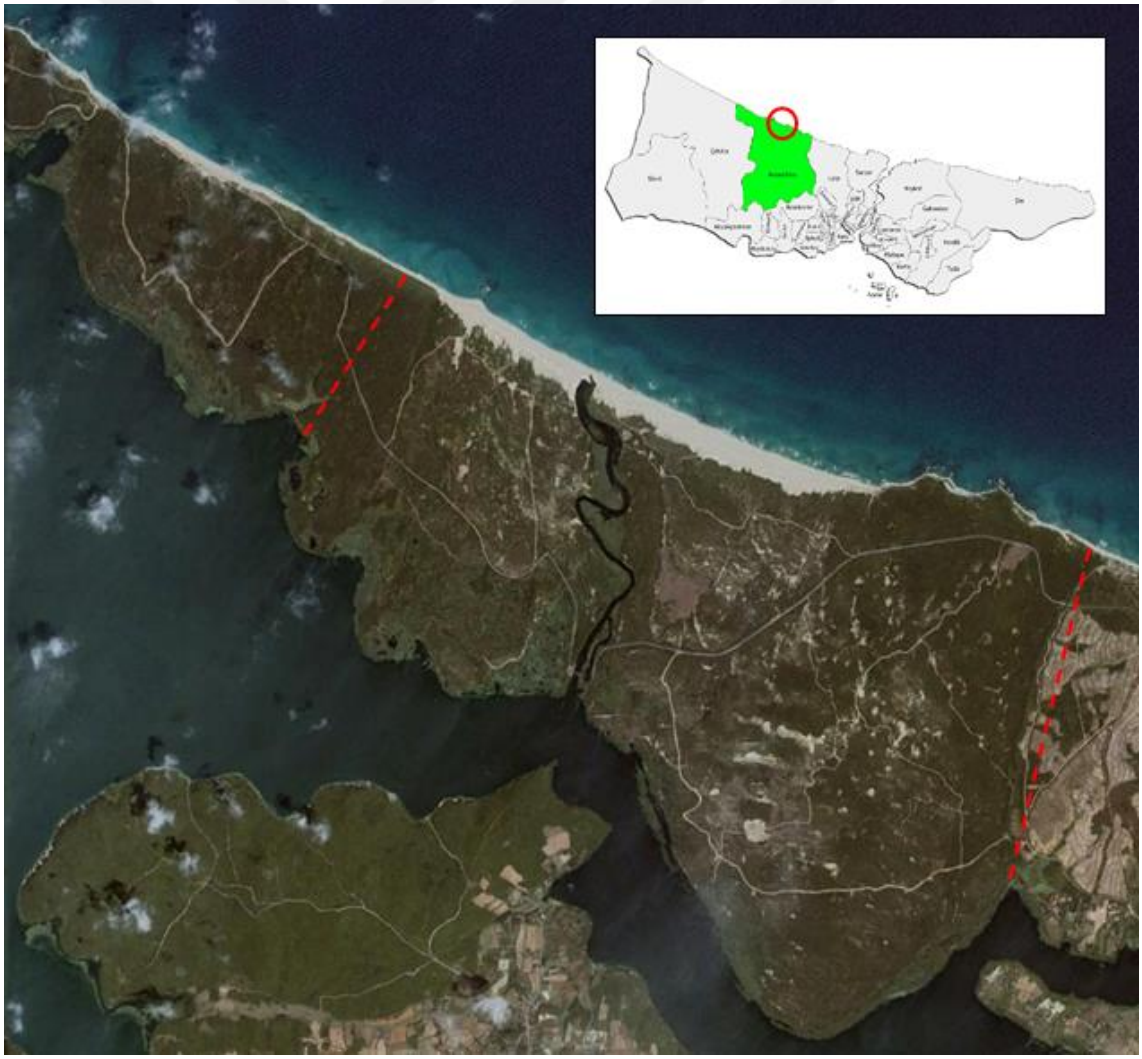
Polat (2010), Turan Emeksiz kumulu fıstık çamı plantasyonlarının toprak özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Tarsus - Turan Emeksiz kıyı kumulunun stabilizasyonu için farklı dönemlerde tesis edilen fıstık çamı ağaçlandırmalarının 'başlangıç toprak oluşumu' üzerindeki etkilerini araştırma amacı ile yola çıkan araştırmacı, bu amaçla fıstık çamı meşcereleri altında ölü örtü ve toprak özellikleri araştırılmıştır. Araştırmacı kumulların pH, EC, $CaCO_3$, katyon değişim kapasitesi, organik madde, humin maddeleri, toplam N, yararlı P, yararlı mikro elementler (Fe, Mn, Zn ve Cu) ve mikorizal potansiyel içerikleri ve agregatlaşma incelemiştir. Tüm fıstık çamı plantasyonları altında, yüzey horizonunda (Ah) organik madde, mikroelement (Cu, Mn ve Zn) ve yararlı P, toplam N içerikleri ile birlikte en yüksek ölü örtü miktarlarına da araştırmanın en eski dikim alanında (1961) rastlanmıştır. Rüzgâr erozyonunu durdurmak amacıyla ağaçlandırılan kumulun bugünkü toprak özellikleri ve özellikle organik madde ve humin maddelerinin yüksek düzeylerde saptanması Turan Emeksiz kıyı kumulu plantasyonu altında toprak oluşumunun başladığına işaret etmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. ARAŞTIRMA ALANININ TANITIMI

3.1.1. Mevkii Özellikleri

Araştırma, İstanbul ilinin Arnavutköy ilçesine bağlı Durusu (Terkos) Kumul Ağaçlandırma alanlarında gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanı, UTM koordinat sisteminin 35T kodlu bölgesinde, kabaca 634255E, 4580240N (kuzeybatı); 639365E, 4578320N (kuzeydoğu); 638680E, 4575800N (güneydoğu) ve 633630E, 4578410N (güneybatı) koordinatları içerisinde yer alan ağaçlandırılmış bir kıyı kumulu alanıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Araştırma alanı.

Irmak ve diğ. (1980)'ne göre Durusu kumul ağaçlandırmaları ve çevresi (Durusu Gölünün Karadeniz ile arasında kalan kısım), Ormanlı Köyü'nün kuzeyinden itibaren gölün giriş kısmını kapatan kıyı kordonunu da içerecek şekilde Karaburun yakınına kadar uzanmaktadır. Çalışma alanında kuzey yönünden esen hakim rüzgarın da etkisiyle kumullar taşınmış ve yer yer kumul tepeleri oluşmuştur. 20 m civarında bir ortalama yüksekliğe sahip olan alanın en yüksek noktasının, arazi paftalarında belirtildiği üzere, doğu yönündeki (~70 m) Kabakum tepesi olduğu bildirilmektedir (Saraçoğlu ve Bozkuş, 1996). Bu durum, Google Earth veri tabanında incelendiğinde ise bu nokta ve yakın çevresinin 82 m'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu kum tepelerinde yer yer eğim % 100'lere çıkabilmektedir. Ancak çalışma alanında aynı zamanda düz alanlar da bulunmaktadır.

Kumul karakterdeki alanın yönetimi ve işletmesi İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Durusu Orman İşletme Şefliği'ne aittir.

3.1.2. İklim Özellikleri

Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonları Kumköy (Kilyos), günümüzde kapatılmış olan Çatalca ve yeni kurulmuş olan Çatalca Radar Sahası Meteoroloji istasyonlarıdır. Bu istasyonlara ait bazı meteorolojik veriler Tablo 3.1-

Tablo 3.3 arasında gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çatalca Meteoroloji İstasyonuna (1986-1996) ilişkin veriler.

Meteorolojik parametreler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	4,9	4,9	6,7	11,8	16,1	21,2	23,6	23,7	20,0	15,2	9,9	6,3	13,7
Maksimum Sıcaklık (°C)	16,6	18,2	24,2	32,0	33,3	33,5	39,5	35,6	34,7	31,2	25,0	17,4	39,5
Minimum Sıcaklık (°C)	-10,5	-11,7	-9,3	-1,0	3,3	5,5	12,0	10,0	6,6	1,5	-4,4	-6,2	-11,7
Aylık Toplam Ortalama Yağış (mm)	60,3	42,6	59,5	47,0	40,3	37,5	32,0	25,7	44,5	69,2	101,8	122,6	683,0
Günlük Maksimum Yağış (mm)	35,3	31,5	51,21	31,3	29,4	26,6	72,3	54,9	64,1	134,6	61,2	54,0	134,6
Kar yağışlı günler sayısı	3	2,73	1,91	0,09						0,09	0,27	2,64	10,73
Bağıl Nem (%)	76,3	74,3	71,4	68,3	69,4	63,0	65,1	65,0	65,0	72,4	74,0	77,1	70,1

Tablo 3.2: Çatalca Radar Meteoroloji İstasyonuna (2009-2016) ilişkin veriler.

Meteorolojik parametreler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	3,5	4,2	6,3	10,6	15,4	19,4	21,9	21,8	18,8	13,4	10,4	5,5	12,6
Maksimum Sıcaklık (°C)	19,5	22,6	24,2	26,7	30,0	31,4	33,8	35,2	34,5	29,9	25,0	22,2	35,2
Minimum Sıcaklık (°C)	-10,8	-9,0	-4,9	-1,3	5,8	10,5	13,3	14,3	8,4	0,3	-0,5	-29,2	-29,2
Aylık Toplam Ortalama Yağış (mm)	97,7	102,2	90,4	59,7	51,2	43,1	33,3	26,6	136,6	173,3	86,7	109,1	992,8
Günlük Maksimum Yağış (mm)	51,8	67	58,4	46	65	39	54,8	30,4	181,6	161,2	54,2	62,4	181,6
Kar yağışlı günler sayısı	3	2,73	1,91	0,009						0,09	0,27	2,64	10,73
Maksimum kar kalınlığı (cm)	27	36	41								2	8	41
Bağıl Nem (%)	90,1	89,8	84,9	78,7	80,7	83,2	83,3	85,5	84,1	88,9	87,8	89,5	85,5

Tablo 3.3: Kumköy (Kilyos) Meteoroloji İstasyonuna (1970-2011) ilişkin veriler.

Meteorolojik parametreler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	5,8	5,7	7,2	11,0	15,6	20,4	23,1	23,4	19,7	15,5	11,0	7,8	13,8
Maksimum Sıcaklık (°C)	22,2	23,6	26,6	33,2	34,0	41,0	41,4	39,8	34,2	33,6	27,1	24,0	41,4
Minimum Sıcaklık (°C)	-7,8	-10,4	-8,0	-2,7	1,2	6,0	10,0	9,2	5,0	1,0	-2,2	-6,9	-10,4
Aylık Toplam Ortalama Yağış (mm)	94,9	72,1	79,3	48,6	37,2	34,5	25,5	52,2	69,2	98,0	90,8	122,3	824,6
Günlük Maksimum Yağış (mm)	63,7	49,1	58,6	42,1	82,2	83,5	57,7	89,7	179,4	88,9	73,0	69,5	179,4
Kar yağışlı günler sayısı	3,5	3,9	1,9								0,4	1,8	11,5
Bağıl Nem (%)	79,4	78,4	77,9	77,8	79,6	77,2	76,8	76,9	77,0	78,5	78,5	78,6	78,0

Araştırma alanının yakınlarında bulunan Çatalca Radar Meteoroloji İstasyonu hem deniz kıyısından uzak olması hem de yükseltisinin fazla olması nedeniyle çalışma alanını tam olarak yansıtmamaktadır. Kapatılmış olan Çatalca Meteoroloji İstasyonunun da denizden uzak olduğu için Durusu Kumulunun meteorolojik özelliklerini değerlendirilmesinde kullanılmaması gerektiği değerlendirilmiştir. Diğer en yakın meteoroloji istasyonu olan Kumköy Meteoroloji İstasyonu verilerine göre (Tablo 3.3) alanda 1970-2011 yılları arasında gözlemlenen aylık ortalama hava sıcaklıkları -5,7 °C (şubat) ile 23,4 °C (ağustos) arasında değişmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık ise 13,8 °C'dir. Orman ağaçları için vejetasyon dönemi olarak adlandırılan ve

aylık ortalama hava sıcaklığının 10 °C ve üzerinde olduğu dönem, bu istasyon verilerine göre nisan ve kasım ayları arasındaki 8 aylık bir süreye denk gelmektedir. Yıllık toplam yağışın 825 mm olduğu istasyonda aylık yağışlar nisan-temmuz ayları arasında 50 mm'nin altına düşmektedir. Genel olarak kışları ılıman, yazları nispeten kurak ve denizel bir iklime sahiptir.

Çalışma alanında meteoroloji istasyonu bulunmaması nedeniyle, yakındaki meteoroloji istasyonlarının çalışma alanındaki meteorolojik koşulları tam olarak yansıtmaması nedeniyle TOK modellemesinde girdi olarak kullanılan yağış ve sıcaklık değerleri olarak WorldClim veri tabanından elde edilen verilerin kullanılması kararlaştırılmıştır. Aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ile yağış gibi birçok iklim verisini yüksek çözünürlüklü bir biçimde sağladığı için en fazla kullanılan küresel iklim veri setleri arasında yer alan WorldClim'in (https://www.worldclim.org/), özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika'da gerçekleştirilen araştırmalarda yüksek doğruluk göstermekte olduğu bildirilmektedir (Hijmans ve diğ., 2005). Durusu kumul ağaçlandırmasındaki örnek alanları özelinde WorldClim veri tabanından alınan aylık ortalama sıcaklık ve yağış bilgileri Tablo 3.4'de yer almaktadır.

Tablo 3.4: CBM-CFS3 ve FBDC modellerinde kullanılmak üzere araştırma alanı özelinde WorldClim veri tabanından elde edilen meteorolojik tahminler.

Meteorolojik Elemanlar	Aylar												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ort. Sıc. (°C)	5,3	5,5	7,1	11,2	15,6	20,1	22,7	22,8	19,8	15,4	10,9	7,7	13,67
Yağış (mm)	89	59	60	48	37	32	23	32	41	67	86	106	680

3.1.3. Anakaya ve Toprak Özellikleri

Literatürde araştırma alanı içerisinde herhangi bir anakayaya rastlanmadığı gözlemlenmiştir. Buna rağmen Tolunay ve diğ. (2017), araştırma alanının denizden uzak fakat göle yakın kısımlarında eski topraklara rastlandığına ve bu topraklara 60-70 cm'lik kazı derinliklerinde ulaşılabildiğini belirtmiştir.

Bir kıyı kumulu olan araştırma alanındaki toprakların büyük bir kısmının deniz kökenli olması sebebi ile denizel canlılara ait kavkılar (kabuk vb.) ve bunlara ait kırıntılar sahil boyunca gözlemlenebilmektedir. Bu durum, araştırma alanı topraklarını özellikle kireç içeriği bakımından ilgilendirmektedir. Tolunay ve diğ. (2017) göre araştırma alanı topraklarının önemli bir kısmı kireç içermekte ve kum topraklarının tipik özeliklerini taşımaktadır. Kum topraklarına dair bu özellikler, toprak tanecikleri arasındaki boşlukların fazla olması sebebi ile geçirgenliğin fazla olması ve dolayısıyla topraktaki faydalanılabilir su kapasitesi ve su tutma

kapasitelerinin oldukça düşük olması olarak özetlenebilir. Abdalmoula ve diğ. (2019), araştırma alanı topraklarında kireç oranlarının %30'lara kadar yükseldiğini ve kum oranının ise %95-98 aralığında değiştiğini bildirmiştir. Çalışmada, araştırma alanı toprakların pH'sını genellikle hafif alkalen olarak belirlenmiş olsa da toprak pH'ların 8,5'e kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Elektriksel iletkenlik değerlerinin 20-80 µS/cm arasında değiştiği, TOK yoğunluklarının ağaçlandırılmamış kumullarda 1,45 t C/ha gibi düşük bir değere sahip olduğu, sahil çamı ağaçlandırma alanlarında bu değerin 5,14-16,40 t C/ha, fıstık çamı ağaçlandırma alanlarında ise 6,26-30,85 t C/ha arasında değiştiği de bu çalışmanın bulguları arasında yer almaktadır.

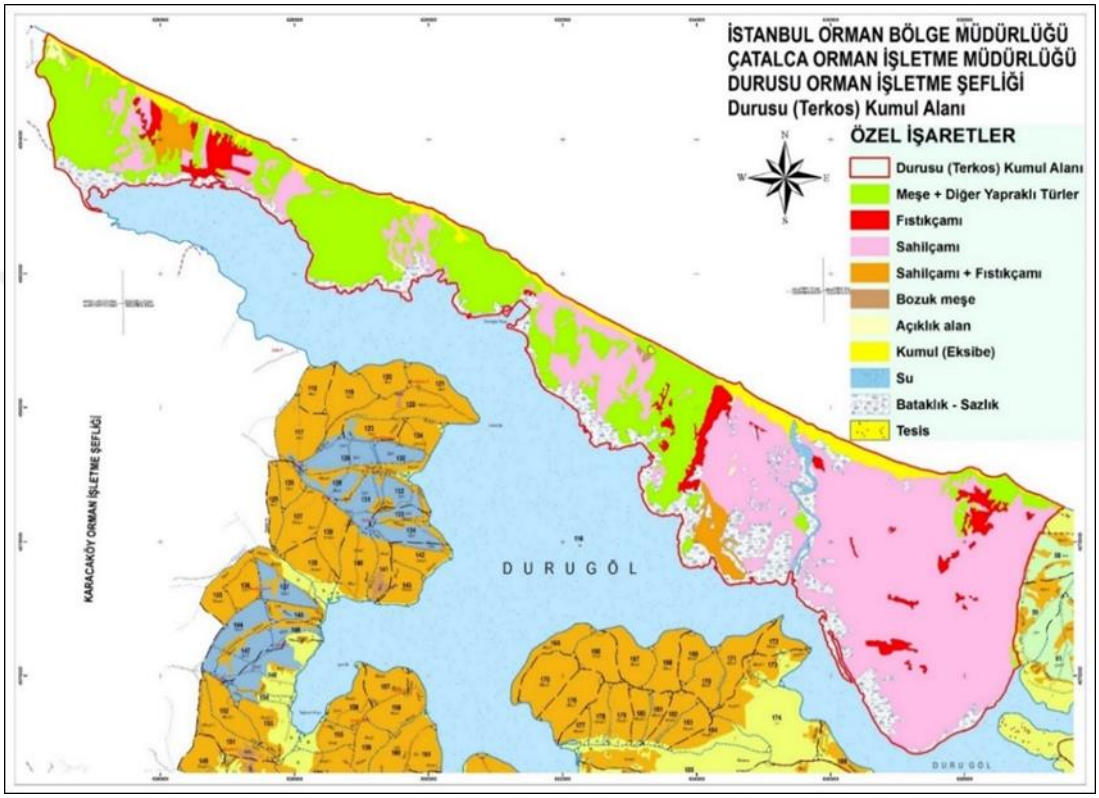
3.1.4. Bitki Örtüsü

Günümüzde, Durusu kumul ağaçlandırmaları, yapısı ve geçmişi itibarı ile hâkim ağaç tabakası olarak fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) ve sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) meşcereleri ile kaplıdır. Kumulda ağaçlandırılmış alan toplam olarak 1.647 ha kadardır. Bunun 173 ha'ı fıstık çamı ve 1.474 ha'ı ise sahil çamı ağaçlandırmasıdır.

Tablo 3.5: Durusu (Terkos) kumul alanına ait Durusu Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022) verileri (OGM, 2013'ten Tolunay ve diğ., 2017 tarafından derlenmiştir).

Doğal Meşcereler				**Ağaçlandırma Alanları**			
Meşcere Tipi	**Alan (ha)**	**Ağaç Serveti (m^3)**	**Hacim Artımı (m^3)**	**Meşcere Tipi**	**Alan (ha)**	**Ağaç Serveti (m^3)**	**Hacim Artımı (m^3)**
Mab3	14,3	202	17	Çfa	12,4	-	-
Mb3	8,3	675	39	Çfab3	2,6	61	5
Mbc3	320,3	34.089	1.279	Çfb3	17,7	1.009	72
Mc3	62,3	8.148	250	Çfbc3	50,4	5.491	292
MDyab3	84,3	1.951	200	Çfc3	47,5	6.583	319
MDybc3	135,8	12.657	517	Çfcd3	3,3	1.027	32
MGnbc3	233,5	27.735	1.132	ÇfÇmbc3	39,5	5.088	249
BMDy	3,8	46	1	Çm0a	13,5	-	-
Doğal orman toplam	862,6	85.503	3.435	Çma	21,7	-	-
Açıklık – Ağaçsız Alanlar				Çmab3	227,1		7.073
Bataklık	415,4			Çmb3	377,0	27.923	2.753
Kumul	151,9			Çmbc3	475,4	60.024	3.637
Orman Toprağı	9,7			Çmc3	273,0	60.343	2.708
Su	19,0			Çmcd3	56,6	20.328	577
Tesis	1,0			ÇmÇfbc3	29,5	6.152	301
Açıklık Alan Toplamı	596,9			Ağaçlandırma Toplamı	1.647,2	201.100	11.747
Toplam: 3.106,7 ha (Orman 2509,8 ha + 596,9 ha Açıklık alan)							

Doğal ormanlar ise orman amenajman planına göre meşe, gürgen ve diğer yapraklı türlerden oluşmakta olup toplam alanı 863 ha kadardır (Tablo 3.5). Meşe türleri ağırlıklı olarak Macar meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) ve mazı meşesi (*Quercus infectoria* Olivier)'dir. Çalışma alanında büyük bir çoğunluğu sahil kesiminde olmak üzere 152 ha ağaçlandırılmamış kumul alanı bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Durusu Gölü kumul alanına ait Durusu Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022) ağaç türleri ve arazi kullanım tipleri haritası (OGM, 2013).

Çalışma alanında bu orman ekosistemlerinin yanı sıra, tatlı su ekosistemleri (göl ve dere); sazlıklar ve bataklıklar; hareketli ve otsu bitkiler sayesinde hareketi durmuş kumullar gibi ekosistem ve habitatları da barındırmaktadır (Tablo 3.5; Şekil 3.3) (Tolunay ve diğ., 2017). Araştırma alanı içerisinde doğal ağaç ve çalı formundaki bitki türleri arasında akçakesme (*Phillyrea latifolia* L.), Akdeniz defnesi (*Laurus nobilis* L.), karaçalı (*Paliurus spina-christi* Mill.) ve menengiç (*Pistacia terebinthus* L.) göze çarpan türlerdir (Saraçoğlu ve Bozkuş, 1996). Araştırma alanında tehlike altındaki türlerin yayılış gösterdiği Byfield ve Özhatay (1995) tarafından özellikle alanın kumul karakterini kaybetmemiş yerlerinde rastladıkları kuduzotu (*Alyssum stribrnyi* Vel.), babrik (*Cionura erecta* L.), şehvetotu (*Cyperus capitatus* Vand.), yumak (*Festuca* sp. L.), kelebek otu (*Isatis arenaria* Azn.), Kilyos moru (*Jurinea kilaea* Azn.)

ve kıyı kerevizi (*Peucedanum obtusifolium* Sm.) gibi örnekler ile belirtilmektedir. Aynı araştırmacılar ile Baylan ve Karadeniz (2006), göl ve göl etkisi altındaki alanlarda kamış (*Phragmites australis* Trin. ex Steud.), semer otu (*Schoenoplectus lacustris* Palla), su feneri (*Stratioles aloides* L.) ve kordelaotu (*Vallisneria spiralis* L.) türlerinin de bulunduğunu bildirmiştir. ÇEM (2022) araştırmasına göre Durusu kumul ağaçlandırma alanları kumul tespit çalışmaları bünyesinde katırtırnağı (*Spartium junceum* L.), kelebek otu (*Isatis areneria* Arn.), kuduzotu (*Alyssum stribrnyi* Vel.), sahil otu (*Amophila areneria* L.), süpürge otu (*Cytisus scoparius* (syn. *Sarothamnus scoparius*) L.) ve beyaz çiçekli yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) gibi bitkiler azot bağlama ve kumula organik madde kazandırma amacı ile alanda çeşitli dikim aralıkları ile kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Durusu Kumulunda yer alan farklı ekosistemler (Tolunay ve diğ., 2017).

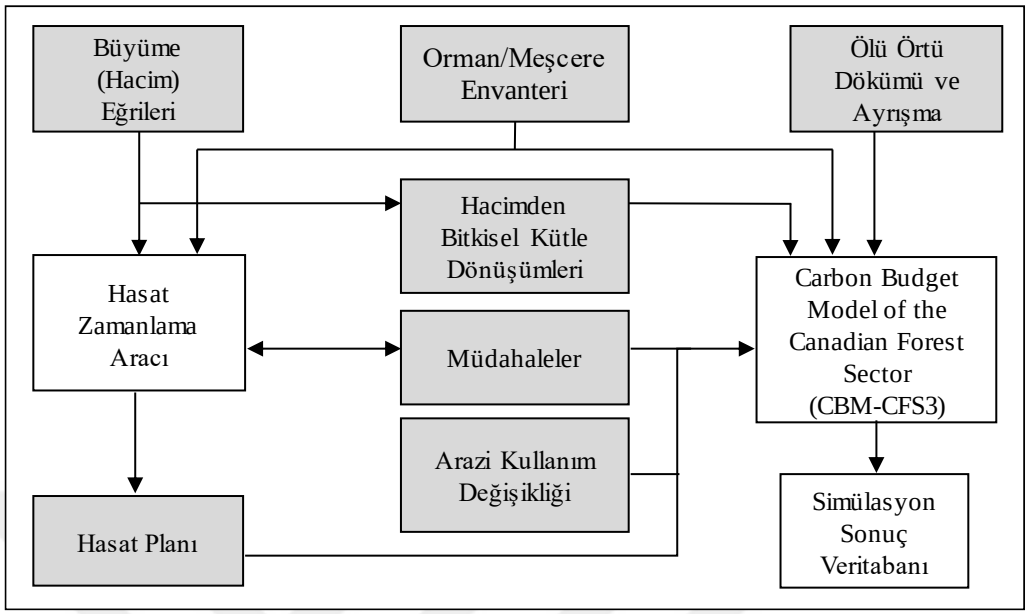
3.2. KULLANILAN YÖNTEM VE MODELLERİN TANITIMI

3.2.1. CBM-CFS3 Modeli

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında gerekli görülen tüm orman karbon havuzlarına ait dinamikleri simüle etmek için kullanılabilen CBM-CFS3 isimli yazılım, meşcere ve ekosistem seviyesinde geçmiş (izleme) veya geleceğe (projeksiyon) dair karbon stoklarını ve stok değişikliklerini hesaplamak için kullanılabilen bir modeldir (Kull ve diğ., 2019).

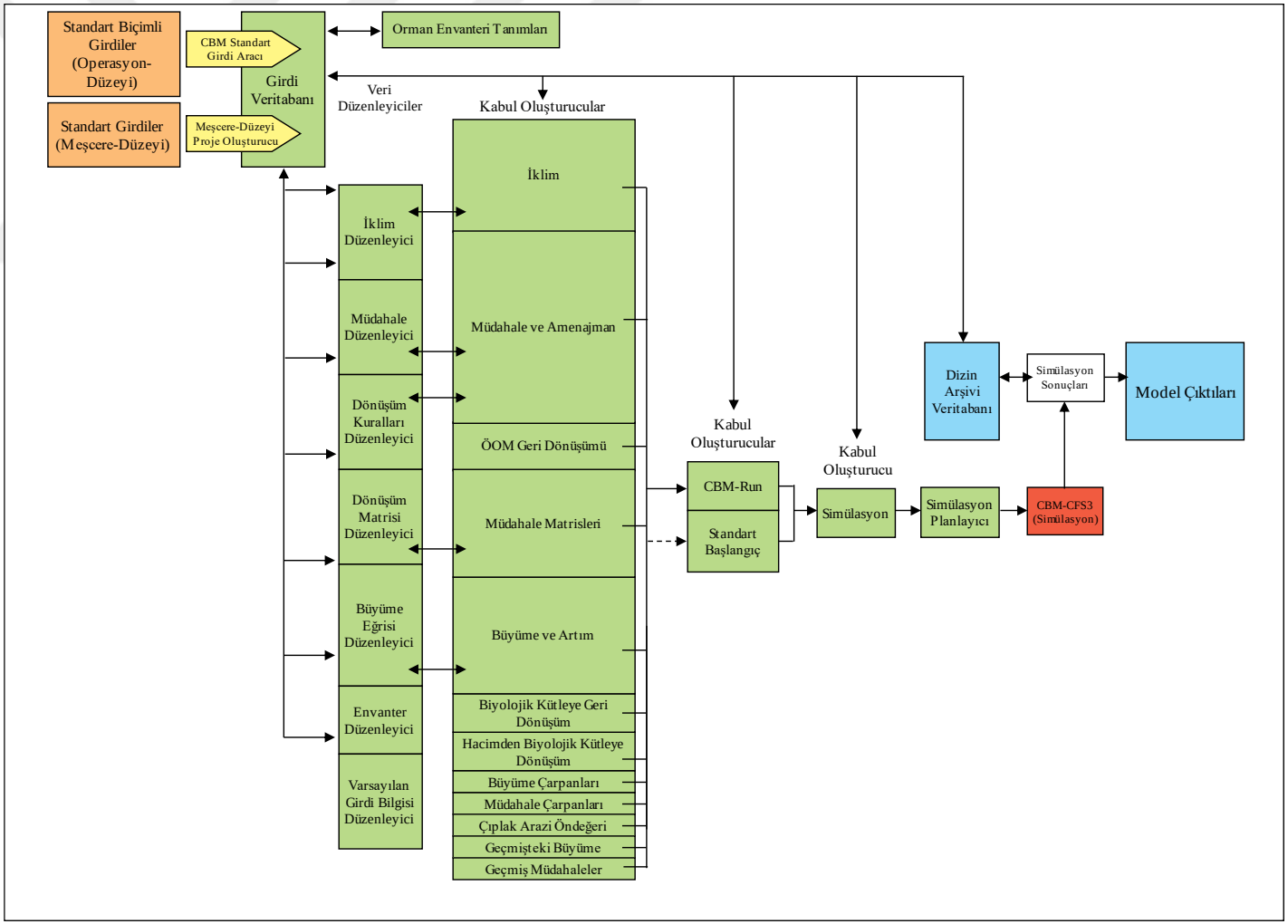
Şekil 3.4'de gösterildiği üzere CBM-CFS3 modeli kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar 7 adet girdi tipine/grubuna ihtiyaç duymaktadır. Modelin ihtiyaç duyulan verilerin adım adım girilebileceği bir arayüzü bulunmaktadır. Modelde öncelikli olarak çalışma alanı tanıtımı yapılmaktadır. Bunun için çalışma alanının Kanadaya özgü olarak geliştirilmiş ekozonlardan hangisinde yer aldığı, ağaç türü ve toprak tipi verileri modele tanıtılmaktadır. İkinci adımda simülasyon yapılacak örnek alan sayısı ve simülasyon süresi belirtilmektedir. Üçüncü adımda simülasyon başında örnek alanların orman ya da orman dışı alan mı olduğu açıklanmaktadır. Dördüncü adımda meşcerenin gelişimi esnasında yangın, böcek zararı ve silvikültürel müdahaleler gibi ormanlarda ağaç sayısını ve meşcere hacmini etkileyebilecek faktörlerin zamanları modele girilmektedir. Bu adımda aynı zamanda yaşanabilecek arazi kullanım değişikliklerinin de modele tanıtımı yapılabilmektedir. Devamında yaşa bağlı olarak birim alandaki (1 ha) kabuksuz ticari gövde odunu hacimlerine dair verilere ihtiyaç duymaktadır. Ancak modelde toprak organik karbonu miktarının tahmini için bu hacim değerlerinin ağaç bileşenlerinin (yaprak/ibre, kabuksuz gövde odunu, kabuk ve diğer topraküstü bileşenleri) bitkisel kütlesine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem daha sonra detaylı olarak açıklanacak olan Boudewyn yaklaşımı ile yapılmaktadır. Modelin son aşamasında ağaç bileşenlerinin dökülme ve ayrışma oranları arayüze girilebilmektedir. Çalışma alanına özgü dökülme ve ayrışma oranlarının bulunmaması durumunda model, başlangıçta seçilen ekozon ve ağaç türü için belirlenmiş olan *varsayılan* katsayıları kullanmaktadır. Modelde aynı zamanda ağaç bileşenlerinin karbon oranları da çalışma alanlarına özgü olarak girilebilmektedir. Son olarak da başlangıçtaki başka bir ifadeyle ormanlaştırma/ağaçlandırma yada doğal gençleştirmeye başlanıldığı andaki toprak organik karbonu stoklarının da girilmesi mümkündür. Alana özgü TOK stokları girilmediği takdirde yine toprak tipi için modelin varsayılan TOK stokları, simülasyon başlagıç değeri olarak kabul edilmektedir.

CBM-CFS3 modelinin genel bir simülasyon akış şemasına aşağıda yer verilmiştir. (Şekil 3.5).



Şekil 3.4: CBM-CFS3 modeli için gerekli (gri kutular) girdi tipleri (Kull ve diğ., 2019).

CBM-CFS3 modeli, meşcere dinamiklerini tanımlamak için meşcere yaşı ve meşcerenin kabuksuz ticari gövde odunu hacminin veri çiftleri halinde tanıtıldığı büyüme (hacim) eğrilerini kullanmaktadır. Meşcere ölçeğinde kabuksuz ticari gövde odunu hacmi değerlerinin bitkisel kütleye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem meşcere hacmi ile meşceredeki bitkisel kütle arasındaki ilişkinin simüle edilmesi ile mümkündür. CBM-CFS3 modeli, toprak üstü bitkisel kütleyi bir model girdi altlığı olarak hasılat veya alan envanter tablolarından tahmin etme amacı ile Boudewyn ve diğ. (2007) tarafından geliştirilen bir denklem ve katsayı bütününü kullanmaktadır. Bu nedenle Boudewyn yaklaşımı detaylı olarak bir alt başlık halinde aşağıda açıklanmıştır.



Kullanıcı veri biçimleri turuncu, içe aktarma araçları sarı oklar; veri tabanları, veri düzenleyiciler, varsayım oluşturucuları, Simülasyon ve Simülasyon Planlayıcı yeşil; modelin veri işleme modülü kırmızı, Simülasyon Sonucu modülü beyaz, Arşiv veri tabanı ve Model Çıktıları modülü ise mavi kutularda gösterilmiştir.

Şekil 3.5: CBM-CFS3 Modelinin simülasyon akış şeması (Kull ve diğ., 2019).

Boudewyn Yaklaşımı

Uluslararası standart tanımların kullanıldığı bu yaklaşıma göre toplam ağaç gövdesi hacmi, kabuk hariç tüm gövdenin hacmi olarak tanımlanmaktadır. Brüt ticari hacim kabuk, dip kütüğü ve uç kısım hariç gövdenin hacmidir (Boudewyn ve diğ., 2007). Ticari gövde odunu tanımı ülkeden ülkeye değişebilmektedir. Örneğin Türkiye'de çapı 4 cm'den büyük dal ve gövde odunları ticari odun olarak kabul edilmektedir (Tolunay, 2019). Net ticari hacim ise brüt ticari hacimden kırılma ve çürüme gibi nedenlerle kaybedilen hacmin düşülmesiyle kalan hacimdir.

Boudewyn yaklaşımına göre bitkisel kütleyi tahmin etmek için geliştirilen model -ve dolayısıyla katsayıların- araştırmaya konu ormanların yapısına göre değişkenlik gösterdiği kabul edilmektedir. Yaklaşımda senaryo adı altında 4 farklı orman yapısı tanımlanmış olup bunlar aşağıda açıklanmıştır (Boudewyn ve diğ., 2007):

1. İşletilen ve hacim verileri olan kapalılığın %10 ve üzerinde olduğu ya da brüt ticari hacme sahip meşcereler,

2. Hacim verileri olmayan ancak ticari hacme sahip olduğu bilinen meşcereler (bu meşcerelerde ticari hacim mevcut verilerden ayrı olarak tahmin edilmekte ve Senaryo 1 ile aynı şekilde değerlendirilmektedir)

3. Kapalılığın %10 ya da daha fazla olduğu fakat brüt ticari hacmin olmadığı meşcereler,

4. Mera, tarım arazileri ve bitki örtüsüne sahip kentsel alanlar haricindeki ormanlaştırmaya uygun olan ağaçsız ve dolayısıyla belirli bir ticari hacme sahip olmayan alanlar.

Modelleme açısından Boudewyn yaklaşımı, (ilk 2 senaryonun aynı yöntem ile hesaplandığı kabul edildiğinde) bu üç tür meşcere/poligonun her biri için farklıdır ve mevcut veri kaynakları tarafından kullanılmaktadır. Yaklaşıma göre, ülkemizde de olduğu gibi göğüs yüksekliğindeki çapı (D1,3) 0 cm'den büyük olan ağaçların önce kabuksuz ticari gövde odununun fırın kurusu ağırlıkları hesaplanmaktadır. Sonrasında ticari olmayan ağaç bileşenlerinin (kabuk, dallar, ibreler/yapraklar, gövdenin uç parçası ve dip kütüğü) tahmin eden denklemler geliştirilmektedir. Alt tabakada bulunan çalılar ile boyu 1,3 m'den kısa olan fidanlar için de denklemler geliştirilebilmektedir.

Yaklaşımın kullandığı bitkisel kütle tahmin modellerini ve bunların ilişkilerini açıklayan bir akış şeması (üst kısım) ve bu uygulamanın şematik bir temsili (alt kısım) Şekil 3.6'da yer almaktadır. Akışta da görülebileceği üzere, tüm ağaçların ton/ha cinsinden gövde odunu bitkisel kütlesini tahmin etmek için hiyerarşik bir model seti geliştirilmiştir. Öncelikle ticari büyüklükteki ağaçların gövde odunu bitkisel kütlesi için denklemler geliştirilmiştir. Sonrasında kabuksuz ticari gövde odunu kütlesini bağımsız değişken olarak kullanan ticari olmayan bitkisel kütleyi tahmin eden katsayı üretilmiştir. Benzer şekilde fidan olarak tanımlanan boyu 1,3 m'den kısa olan bireyler için de fidan faktörleri oluşturulmuştur. Bu işlemlerde kullanılan denklemler aşağıda açıklanmıştır.

Boudewyn yaklaşımına göre ticari boyutlardaki ağaçların gövde odunu bitkisel kütlesi Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

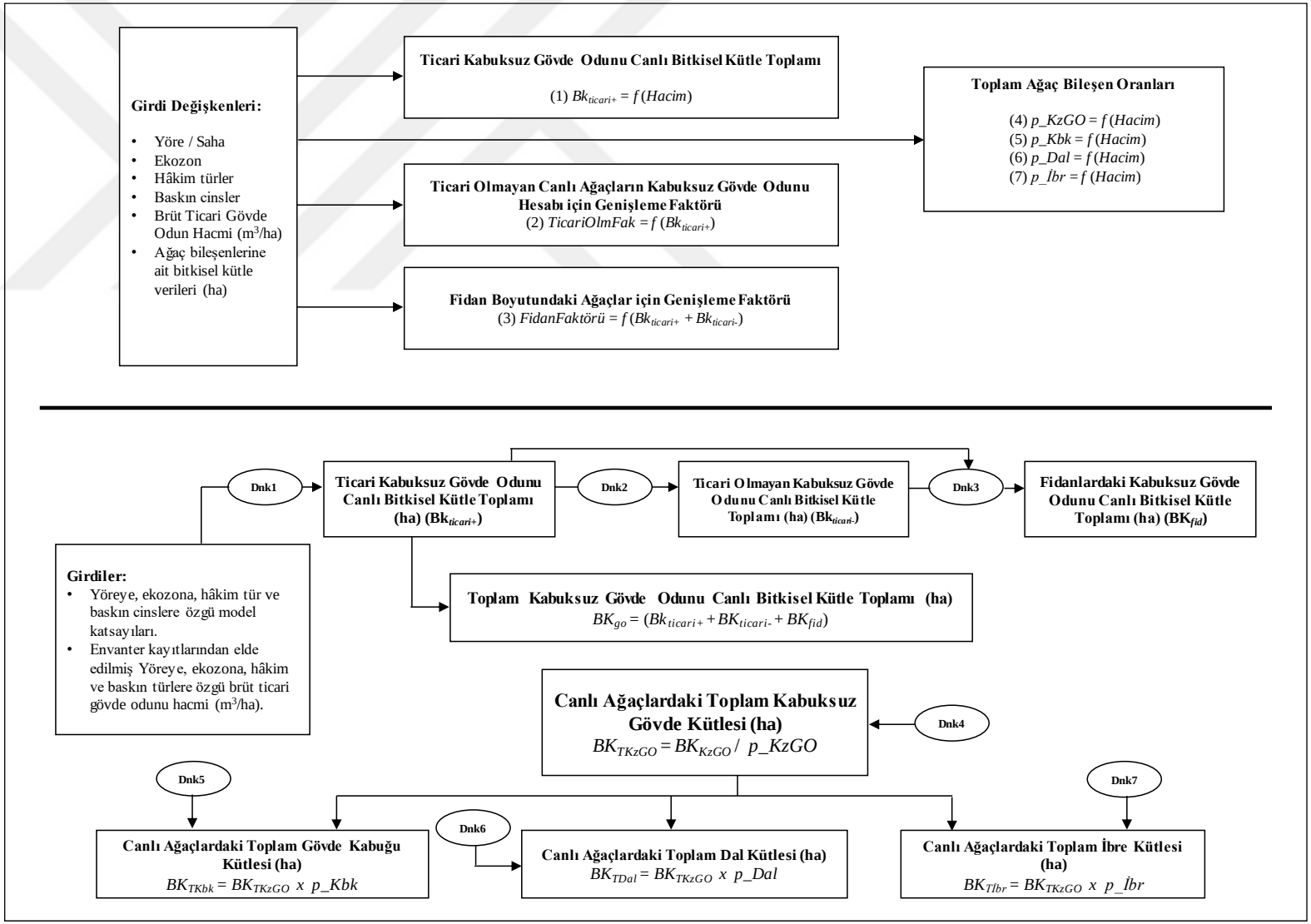
$$b_m = a * Gövde\ Hacmi^{b} \quad (3.1)$$

Denklemde *b_m* ticari boyutlu canlı ağaçlardaki toplam kabuksuz gövde odunu kütlesini (t/ha), *Gövde hacmi* ise tüm canlı ağaçların toplam brüt ticari hacmini (m^3/ha) ifade etmektedir. *a* ve *b* ise denklem katsayılarıdır.

Ticari olmayan başka bir ifade ile göğüs yükseliğindeki çapı 4 cm'den küçük olan bireylerin birim alandaki bitkisel kütlesini tahminde aşağıdaki denklemle elde edilen katsayılar kullanılmıştır.

$$Ticari\ Olmayan\ Ağaç\ Faktörü = \frac{b_nm}{b_m} = k + a * b_m^{b} \quad (3.2)$$

Denklemde *b_nm* olarak belirtilen katsayı canlı fakat ticareti mümkün olmayan boyutlardaki ağaçların ton/ha cinsinden kabuksuz gövde odun bitkisel kütlesi (*b_n*) ile ticari boyutlu canlı ağaçlardaki toplam kabuksuz gövde odunu kütlesinin (*b_m*) toplamını ifade etmektedir. Model parametreleri *k*, *a* ve *b* katsayılarıdır.



Şekil 3.6: Senaryo 1 ve 2 için bitkisel kütle model bileşenlerini (üstte) ve uygulamasını (altta) özetleyen akış şeması (Boudewyn ve diğ., 2007).

Boudewyn yaklaşımına göre meşcere içerisindeki boyu 1,30 m'den kısa olan ve bu nedenle göğüs yüksekliğindeki çapı olmayan, bir bakıma fidan olarak adlandırılabilecek bireylerin birim alandaki toplam kabuksuz gövde odunu kütlesini tahminde kullanılan katsayı Denklem 3.3 ile üretilmiştir.

$$Fidan\ Faktörü = \frac{\text{b_snm}}{b_nm} = k + a * b_nm^{b} \quad (3.3)$$

Denklemde *b_snm* olarak yer verilen katsayı, canlı ve boyut olarak fidanlara yakın ve dolayısıyla ticareti de mümkün olmayan ağaçların kabuksuz gövde odunu bitkisel kütlesi (t/ha), (*b_nm*) ticaret olanağı sorgulanmaksızın canlı ağaçların ton/ha cinsinden kabuksuz gövde odun bitkisel kütlelerinin toplamını ifade etmektedir. Yukarıdaki denklemlere benzer şekilde *k, a* ve *b* katsayıları model parametreleridir.

Boudewyn yaklaşımında her boyuttaki canlı ağaçlar için gövde odununda, gövde kabuğunda, dallarda ve ibrelerde/yapraklarda bulunan toplam ağaç bitkisel kütlesinin oranlarını tahmin etmeye yönelik modeller de yer almaktadır. Ağaç bileşenlerinin toplam bitkisel kütleye oranlarını tahmin etme aşaması, bu oranların çok terimli (*multinomial*) bir logit modeli kullanılarak eş zamanlı (yani ortak ve paylaşımlı) olarak geliştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla bu safhadaki denklem serisi, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3 ve c_1, c_2, c_3 katsayıları sayesinde 9 farklı parametre ile ticari, ticari olmayan ve fidan sınıflarının tümü için ağaç bileşenleri (ibre, dal, kabuk ve kabuksuz gövde odunu) oranlarına ulaşmayı elverişli hâle getirmektedir. Ağaç bileşenlerinin oranlarının belirlenmesi aşağıdaki denklemlerle gerçekleştirilmiştir (Denklem 3.4; 3.5; 3.6 ve 3.7).

$$p_{GövdeOdunu} = \frac{1}{(1+ e^{a1 + (a2\ x\ Vol) + (a3\ x\ lvol)} + e^{b1 + (b2\ x\ Vol) + (b3\ x\ lvol)} + e^{c1 + (c2\ x\ Vol) + (c3\ x\ lvol)}} \quad (3.4)$$

$$p_{GövdeKabuğu} = \frac{e^{a1 + (a2\ x\ Vol) + (a3\ x\ lvol)}}{(1+ e^{a1 + (a2\ x\ Vol) + (a3\ x\ lvol)} + e^{b1 + (b2\ x\ Vol) + (b3\ x\ lvol)} + e^{c1 + (c2\ x\ Vol) + (c3\ x\ lvol)}} \quad (3.5)$$

$$p_{Dallar} = \frac{e^{b1 + (b2\ x\ Vol) + (b3\ x\ lvol)}}{(1+ e^{a1 + (a2\ x\ Vol) + (a3\ x\ lvol)} + e^{b1 + (b2\ x\ Vol) + (b3\ x\ lvol)} + e^{c1 + (c2\ x\ Vol) + (c3\ x\ lvol)}} \quad (3.6)$$

$$p_{İbreler} = \frac{e^{c1 + (c2\ x\ Vol) + (c3\ x\ lvol)}}{(1+ e^{a1 + (a2\ x\ Vol) + (a3\ x\ lvol)} + e^{b1 + (b2\ x\ Vol) + (b3\ x\ lvol)} + e^{c1 + (c2\ x\ Vol) + (c3\ x\ lvol)}} \quad (3.7)$$

Bu 4 denklemde toplam ağaç bileşenlerine ait oranların (*p*) elde edilmesinde kullanılan *a, b* ve *c* harfleri, denklem serisine ait ortak geliştirilmiş katsayıları; *Vol*, hektar başına brüt ticari hacmi ve *lvol* ise (Vol+5) işleminin doğal logaritmasını ifade etmektedir.

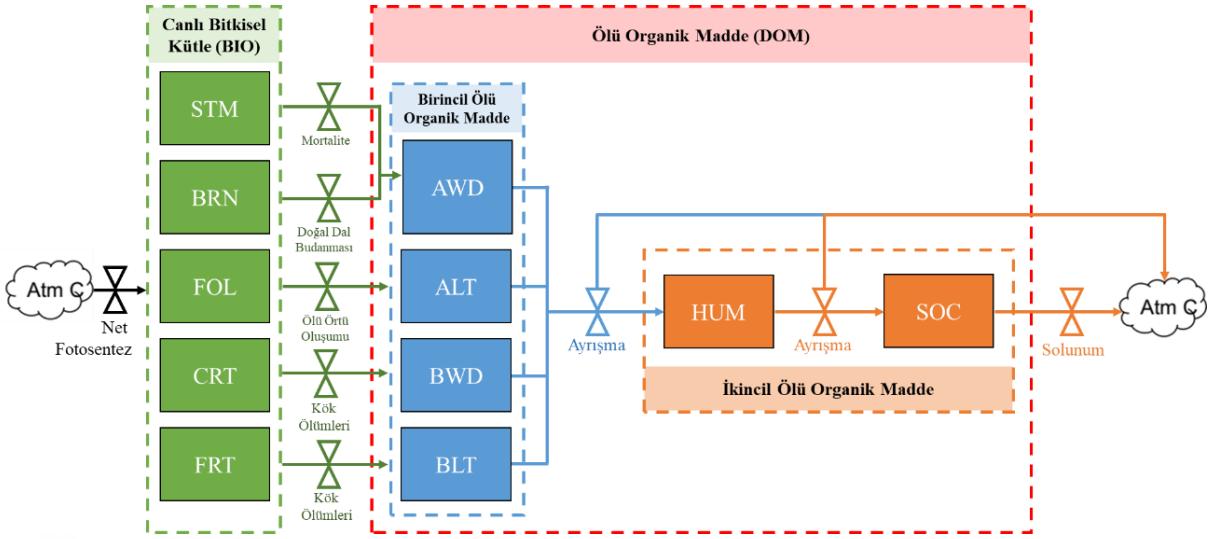
3.2.2. FBDC Modeli

Geliştirilmeye başlandığı yıllarda KFSC (Korean Forest Soil Carbon Model - Kore Ormanları Toprak Karbon Modeli), son sürümü ile de FBDC (Forest Biomass and Dead organic matter Carbon - Orman Bitkisel Kütlesi ve Ölü Organik Madde Karbonu) olarak isimlendirilen model, Kore Cumhuriyeti ormanlarının karbon stokları ve dinamiklerini tahmin yolu ile belirleme amacı ile kullanılan bir kod ve denklem bütününden oluşmaktadır. Model, Yasso (Liski ve diğ., 2005) ve CBM-CFS3 (Kurz ve diğ., 2009) modellerinden yola çıkılarak R programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

FBDC modeli, basit bitkisel kütle regresyon modelleri ve sadece birkaç parametre ile ölü organik maddenin karmaşık karbon dinamiklerini simüle eden bir modeldir (Lee ve diğ., 2014; Yi ve diğ., 2013). Modelin geliştiricileri göre gerekli girdilerin diğer modellere nazaran düşük sayıda olması ve çeşitli mekânsal (yerel, bölgesel, ulusal) ve zamansal (on yıllar) ölçeklerde yüksek seviyelerde uygulanabilir olması modelin avantajlarındandır. Model, başlıca 2 kategoriden oluşmaktadır. Bunlar Canlı Bitkisel Kütle (BIO) ve Ölü Organik Madde (DOM) olarak adlandırılmıştır (Yi ve diğ., 2013). Canlı Bitkisel Kütle kategorisi beş farklı karbon havuzunu içermektedir. Bunlar sırasıyla gövde (STM), dal (BRN), ibre/yaprak (FOL), kalın kök (CRT) ve ince kök (FRT) karbon havuzlarıdır. Yukarıda tanıtılan ağaç bitkisel kütle bileşenlerinin yaşa bağlı olarak değişimleri allometrik fonksiyonlar kullanılarak tahmin edilmektedir.

FBDC modelinde yer alan Ölü Organik Madde kategorisi ise beş temel ölü organik madde karbon havuzunu içermektedir. Bu kategoriler sırasıyla toprak üstü odunsu dökümler (AWD), toprak üstü ölü örtü (ALT), toprak içerisinde yer alan odunsu dökümler (BWD) ve yine toprak içerisindeki ölü örtü bileşenlerini (BLT) kapsamaktadır. Model ikincil bir ölü organik madde kategorisine de sahiptir. Bu alt kategoriyi humus (HUM) ve toprak organik karbonu (SOC) oluşturmaktadır (Lee ve diğ., 2014).

Modelin bölmeleri ve bu bölmelerde yer alan model girdileri aşağıdaki diyagramda gösterilmiştir (Şekil 3.7). Şekilde gösterilen yeşil renkli kutular canlı bitkisel kütle bölmelerini (BIO), mavi renkli kutular birincil ölü organik madde bölmelerini (AWD, ALT, BWD ve BLT) ve turuncu renkli kutular ise ikincil ölü organik madde bölmelerini (HUM ve SOC) ifade etmektedir. Bulut sembolü atmosferik karbonu, oklar ise karbon akışının kaynaklarını göstermektedir.



STM, Gövde; BRN, Dal; FOL, İbre; CRT, Kalın kök; FRT, İnce kök; HUM, Humus; SOC, TOK.

Şekil 3.7: FBDC Modelinde Bulunan Karbon Havuzları (Yi ve diğ., 2013).

FBDC modelinin çalışma mantığı 5 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Modele tanıtılan canlı bitkisel kütlede yer alan organik karbon stokları, atmosferik karbonu kendilerine bağlayarak artmakta;
2. Gövdenin, dalların, ibre/yaprakların ve kalın köklerin bir kısmı, organik karbonu birincil ölü organik madde havuzlarına (ölü örtü ve ölü odun) girdi olarak göndermekte;
3. Yıl boyunca ince köklerin ölmesi ile sağlanan organik karbon üretimi, mineral toprak havuzuna girdi olarak katılmakta;
4. Ölü örtü ve ölü odunlardaki organik karbon çürüyerek mineral toprağa katılmakta; ve
5. Mineral toprağın içindeki organik karbon (toprak solunumu ile) atmosferik karbona dönüşmektedir.

FBDC modelinin prototipi öncelikle Kore Cumhuriyeti ekosistemleri için yapılandırılmıştır. Bu sebeple, modelin Durusu kumul ağaçlandırmaları için uygun parametreler ile geliştirilmesi gerekmiştir. Bu çalışmada altlık olarak kullanılan veriler Tolunay ve diğ. (2017)'den temin edilmiştir.

FBDC modelinde, çalışma alanlarından örneklenen ağaçlara ait lineer olmayan gelişme ve büyümenin tahmininde ilgili bağımlı değişkenin kullanıldığı aracın bir Gompertz fonksiyonu (Denklem 3.8) olması kararlaştırılmıştır. Belirli bir zaman diliminin başlangıcında ve sonunda büyümeyi en yavaş şekilde tanımlayabilen sigmoid bir fonksiyon olan Gompertz fonksiyonunun sağ (yani gelecekteki) değeri olan asimptotuna, eğri ile sol (daha düşük değerli bir başlangıç) değeri olan asimptottan çok daha yavaş bir şekilde yaklaşılabilmektedir.

$$Hacim_{Gövde} = a * e^{(b* e^{(c * t)})} \tag{3.8}$$

Denklemde t simgesi simüle edilecek meşcerenin yaşını ifade etmektedir. Gompertz fonksiyonunda kullanılmak üzere geliştirilmiş katsayılar ise a, b ve c harfleri ile gösterilmiştir.

3.3. KULLANILAN MODELLERE AİT VERİLER

Araştırmada kullanılan 2 modelin de çeşitli ölçeklerde ve ekosistem tiplerinde kullanıldığı akademik düzeyde birçok yayın mevcuttur. CBM-CFS3 modelinin güncellenmesi esnasında geliştirilmeye devam edilen bir kullanım kılavuzu da model ile birlikte erişime açık hâldedir. Bu kılavuzun yanı sıra, modele sunulacak girdi ve katsayıların geliştirilmesini sağlayacak (Boudewyn yaklaşımı örneğine benzer şekilde) ek araştırma ve kabul yöntemleri de bulunmaktadır. Dolayısıyla, FBDC ve CBM-CFS3 adlı modellere ait girdilerinin belirlenmesi aşaması, modellerin açıklayıcı metinleri, yapılan akademik çalışmalar ve araştırma alanında yapılan önceki envanter çalışması (Tolunay ve diğ., 2017) ile birlikte ele alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Varsayılan Girdiler

CBM-CFS3 modeli, model veri tabanı bünyesinde yer alan ekozonlar itibarı ile varsayılan (*default*) değerler içermektedir. Bu değerler, canlı bitkisel kütlenin tahmininde kullanılan katsayılar; ölü organik maddeye (ÖOM) ait döküm oranları (*turnover rate*); gövde odunu, ibre, dallar gibi çeşitli havuzlara ait karbon oranları ve başlangıç toprak değerleri olarak örneklenebilir. FBDC modelinde ise bir veri tabanına ve varsayılan değerlere yer verilmemiştir. Çeşitli havuzlardaki karbonu tahmin etme amacı ile gerçekleştirilen ve daha sonra açıklanacak olan simülasyonların benzer yapılarda ilerlemesi adına, ortak girdiler olan ayrışma, döküm ve karbon oranları gibi veriler CBM-CFS3 ve FBDC modelleri için de aynı tutulmuştur. Hacim verileri ve başlangıç toprak organik karbon verileri hâricinde çalışmada kullanılan varsayılan değer ve katsayılar Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6: Modellerde kullanlan *Varsayılan* değer ve katsayılar

Girdi Tipi	Bileşen	CBM-CFS3	FBDC	Kaynak
İklim Verisi	Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı (° C)	5,86	5,86	Kull ve diğ. (2019)
Bitkisel Kütleye ait Hacim Verileri	Kabuklu Gövde Odunu Hacmi		✓	Pehlivan (2017)
	Kabuksuz Ticari Odun Hacmi	✓		Bu çalışma
Ağaç Bileşenleri Bitkisel Kütle Miktarları	İbre, Dallar, İnce Kökler		✓	Tolunay ve diğ. (2017)
	Kabuklu Gövde Odunu, Kalın Kökler		✓	Bu çalışma
Gövde Odunu Tahmin Katsayıları	A	0,5177		Boudewyn ve diğ. (2007)
	B	0,9531		
Ticari Olmayan Odun Genişletme Faktörü	a	5,4317		Boudewyn ve diğ. (2007)
	b	-0,8728		
	k	0,9331		
	cap	2,7531		
Fidan Genişletme Faktörü	a	0		Boudewyn ve diğ. (2007)
	b	0		
	k	1		
Ağaç Bileşen Oranları	a1	-1,3785		Boudewyn ve diğ. (2007)
	a2	-0,0003		
	a3	-0,0731		
	b1	0,6631		
	b2	0,0012		
	b3	-0,4132		
	c1	0,0215		
	c2	0,0002		
	c3	-0,3804		
Organik Karbon Oranları	Kabuksuz Ticari Odun	0,50		IPCC (2006)
	Kabuklu Gövde Odunu		0,50	
	Diğer Bitkisel Kütle	0,50		
	Dallar		0,50	
	Kalın Kökler	0,50	0,50	
	İnce Kökler	0,50	0,50	
Ayrışma Oranları	İbre	0,36	0,36	Kull ve diğ. (2019)
	Dallar	0,14	0,14	
	Gövde	0,04	0,04	
	Kalın Kökler	0,14	0,14	
	İnce Kökler	0,50	0,50	
	Q10 değerleri	✓	✓	
Döküm Verileri	İbre Döküm Oranı	0,15	0,15	Kull ve diğ. (2019)
	Dal Döküm Oranı	0,04	0,04	
Başlangıç Ekosistem Karbon Değeri	Toprak Organik Karbon Miktarı (t C/ha)	3,49	3,49	Bu çalışma

3.3.2. Örnek Alanlar ve Genel Meşcere Özellikleri

Araştırmanın başlıca materyalini TÜBİTAK-TOVAG tarafından desteklenen 114O797 numaralı 'İstanbul-Durusu Kumul Alanlarındaki Sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ve Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) Ağaçlandırmalarında Karbon Birikimi' (Tolunay ve diğ., 2017) başlıklı projedeki örnek alanların bir kısmını içermektedir. Bitkisel kütle denklemleri geliştirilen ve çeşitli karbon havuzlarındaki karbon stoklarının belirlendiği söz konusu çalışmadaki örnek alanların 42'si sunulan bu çalışmada kullanılmıştır. Bu 42 örnek alan fıstıkçamı ve sahil çamı ağaçlandırmalarının *b, c* ve *cd* gelişim çağlarından 7'şer tekrarlı (2 tür x 3 gelişim çağı x 7 tekrar) olarak seçilmiştir (Şekil 3.8).

Araştırmaya konu olarak seçilen fıstık çamı ve sahil çamı örnek alanlarına ait başlıca bilgiler Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de yer almaktadır.

3.3.3. Hacim ve Bitkisel Kütle Verileri

Çalışmada kullanılan modeller öncelikle meşcere hacminden yola çıkarak bitkisel kütle miktarlarını tahmin etmektedir. Bu kütlelerin ilgili ağaç bileşenine ait karbon oranı ile çarpılması ile bu bileşenlerin bitkisel kütle karbon değerlerine ulaşılmaktadır.

Simülasyon başlangıcında CBM-CFS3 modeli *kabuksuz ticari odun hacmi*ni, FBDC modeli ise *kabuklu gövde odunu hacmi*ni başlıca girdi olarak kabul etmektedir. Ülkemizde gerçekleştirilen alan envanter çalışmalarında kabuklu ya da kabuksuz ticari odun miktarları belirlenmemektedir. CBM-CFS3 ve FBDC modellerinde kullanmak üzere meşcere hacimlerine ait veriler aynı alanda Pehlivan (2017) tarafından meşcere yaşına bağlı olarak geliştirilen büyüme tahminlerinin altlık veri olarak kullanılması ile hesaplanmıştır (Tablo 3.9). 5 yıllık periyotlar hâlinde bildirilmiş kalan meşcere hacimleri, yaşa bağlı olarak Gompertz fonksiyonu katsayıları geliştirilecek şekilde 50 yıllık bir süre dâhilinde tahmin edilmiştir.

Durusu kumul ağaçlandırmasındaki fıstık çamı ve sahil çamı türleri için 50 yaşına kadar hesaplanmış *kalan meşcere* değişimleri, başlıca girdi tipi olan *kabuklu gövde hacmi* verilerini temsil edecek şekilde FBDC modeline girdi olarak sunulmuştur. CBM-CFS3 modelinin bu yapıdaki girdisi olan *kabuksuz ticari odun hacmi*nin belirlenmesi ise sırasıyla kabuk miktarı, kabuk oranı ve kabuklu/kabuksuz ticari odun miktarlarının belirlenmesini gerektirmektedir.



Şekil 3.8: Araştırma alanındaki örnek alanlar ve boş kumul alanları.

Tablo 3.7: Durusu kumul ağaçlandırma alanlarında fıstık çamı türüne ait meşcerelerden seçilen örnek alanlara ait başlıca bilgiler.

Örnek Alan No	Meşcere Tipi	Meşcere Yaşı	X Koordinatı (ED1950)	Y Koordinatı (ED1950)	Eğim (%)	Bakı	Yeryüzü Şekli	Yükselti (m)	Hektardaki Ağaç Sayısı	Ortalama Çap* (cm)	Ortalama Boy (m)	Kapalılık (%)
01	Çfb	29	634198	4579689	3	GD	Düz	10	700	14,4	6,3	60
02	Çfb	29	634205	4578587	2-3	KB	Düz	6	800	17,2	5,6	70
03	Çfb	28	634224	4578576	5	K	Düz	7	1250	11,7	4,8	75
04	Çfb	24	634134	4578744	2	GB	Düz	6	975	13,0	4,2	70
05	Çfb	30	636795	4576485	2	KB	Düz	17	625	14,8	4,8	60
06	Çfb	44	638380	4578234	2	K	Üst Yamaç	74	1700	17,7	7,5	90
07	Çfb	45	638294	4578009	-	-	Düz	70	2500	14,8	7,2	95
08	Çfc	31	634333	4579917	-	-	Düz	9	350	23,8	7,9	60
09	Çfc	29	633832	4579269	6	GD	Orta Yamaç	15	775	20,2	6,9	75
10	Çfc	28	633805	4579231	-	-	Düz	15	650	24,9	10,7	100
11	Çfc	44	637700	4577600	-	-	Düz	66	875	24,6	11,0	90
12	Çfc	42	637851	4577781	2	K-KB	Üst Yamaç	67	675	20,3	6,6	65
13	Çfc	46	638337	4578217	-	-	Düz	73	1600	20,1	7,8	85
14	Çfc	45	638250	4578207	1-2	K	Düz	72	1225	22,3	10,1	85
15	Çfcd	46	638368	4578458	5	KD	Orta Yamaç	63	300	32,4	12,0	50
16	Çfcd	50	638437	4578476	-	-	Düz	65	325	31,2	12,8	65
17	Çfcd	46	638440	4578583	5	GB	Üst Yamaç	63	175	38,7	15,0	50
18	Çfcd	48	638404	4578552	-	-	Düz	60	175	38,4	14,4	50
19	Çfcd	50	638350	4578532	5	G	Üst Yamaç	59	225	39,8	13,2	50
20	Çfcd	46	638453	4578508	-	-	Düz	66	325	35,1	13,2	65
21	Çfcd	46	638523	4578570	-	-	Düz	70	175	38,1	13,7	45

*Ortalama çaplar $d_{1,3}$ mesafelerindeki çapı ifade etmektedir.

Tablo 3.8: Durusu kumul ağaçlandırması alanlarında sahil çamı türüne ait meşcerelerden seçilen örnek alanlara ait başlıca bilgiler.

Örnek Alan No	Meşcere Tipi	Meşcere Yaşı	X Koordinatı (ED1950)	Y Koordinatı (ED1950)	Eğim (%)	Bakı	Yeryüzü Şekli	Yükselti (m)	Hektardaki Ağaç Sayısı	Ortalama Çap* (cm)	Ortalama Boy (m)	Kapalılık (%)
22	Çmb	29	634287	4579763	3	K	Düz	8	3900	10,5	6,3	90
23	Çmb	25	634981	4579682	6	KB	Orta Yamaç	6	1700	13,1	6,1	90
24	Çmb	25	634645	4578637	-	-	Düz	8	2300	13,1	7,1	85
25	Çmb	25	637393	4577057	-	-	Düz	52	3400	10,4	4,9	75
26	Çmb	32	638178	4577902	4	GB	Düz	70	1650	18,9	12,9	85
27	Çmb	35	638288	4578021	8-10	G	Orta Yamaç	72	1475	16,8	11,4	90
28	Çmb	31	635330	4578197	-	-	Düz	6	1225	18,4	11,4	80
29	Çmc	36	637802	4578242	4	GB	Düz	36	825	24,0	14,1	65
30	Çmc	41	638656	4576431	10	GB	Orta Yamaç	15	850	23,4	15,6	80
31	Çmc	40	638594	4576539	-	-	Düz	17	950	22,5	15,1	80
32	Çmc	50	638516	4576788	10	B	Orta Yamaç	27	825	26,6	17,8	85
33	Çmc	46	637528	4577216	8	GD	Üst Yamaç	43	675	26,3	15,4	80
34	Çmc	50	638316	4577189	10	GD	Üst Yamaç	41	1500	21,7	17,7	100
35	Çmc	43	638475	4577173	5	GD	Üst Yamaç	40	875	24,8	17,0	95
36	Çmcd	45	638607	4576983	10	D	Taban	27	650	36,3	22,4	90
37	Çmcd	47	638546	4576683	10	GB	Orta Yamaç	23	750	32,7	19,6	85
38	Çmcd	42	638462	4576788	-	-	Düz	24	600	32,6	19,1	85
39	Çmcd	45	638704	4576782	2	-	Alt Yamaç	22	900	32,2	16,3	85
40	Çmcd	47	639110	4578226	20	D	Orta Yamaç	49	550	34,9	24,4	85
41	Çmcd	43	638217	4575805	-	-	Düz	11	475	30,6	15,2	70
42	Çmcd	42	638311	4575848	-	-	Düz	18	625	32,1	20,2	85

*Ortalama çaplar $d_{1,3}$ mesafelerindeki çapı ifade etmektedir.

Tablo 3.9: Fıstık çamı ve sahil çamı meşcerelerinde hacimlerin 5 yıllık periyotlarla değişimi (Pehlivan, 2017).

	Fıstık Çamı			Sahil Çamı		
Yaş (yıl)	Kalan Meşcere Hacmi (m^3/ha)	Ayrılan Meşcere Hacim Toplamı (m^3/ha)	Genel Meşcere Hacmi (m^3/ha)	Kalan Meşcere Hacmi (m^3/ha)	Ayrılan Meşcere Hacim Toplamı (m^3/ha)	Genel Meşcere Hacmi (m^3/ha)
5	-	-	-	39,2	-	39,2
10	52,6	-	52,6	51,8	5,6	57,5
15	64,1	9,4	73,5	85,1	12,7	97,8
20	86,6	18,8	105,4	138,9	22,1	161,1
25	117,2	29,5	146,7	210,4	33,6	244,0
30	152,3	42,2	194,5	294,8	46,6	341,4
35	187,9	57,5	245,3	387,1	60,2	447,3
40	219,2	75,6	294,8	482,6	73,4	556,1
45	241,2	97,1	338,3	577,2	85,6	662,7
50	248,6	122,1	370,6	667,4	95,5	762,9

Durusu meşcerelerine ait kabuksuz ticari odun veri ve katsayıları Tolunay ve diğ. (2017) çalışmasındaki örnek ağaçlardan elde edilmiştir. Kabuk kütlelerine bu proje çıktıları arasında yer alan kabuklu gövde odunu kütlesi (kg), kabuk karbonu (%) ve kabuklu gövde odunu karbonu (kg) Denklem 3.9 kullanılarak ulaşılmıştır.

$$\text{Kabuk Kütlesi} = \frac{\text{(Kabuklu Gövde Odunu Kütlesi x Kabuk Karbonu)}}{\text{Kabuklu Gövde Odunu Karbonu}} \quad (3.9)$$

Ticari odun kütlelerinin belirlenmesinde projenin arazi çalışmalarında ölçülen örnek ağaçların ticari odun boyları (m) kullanılmıştır (Denklem 3.10). Kütle yerine hacmin kullanılması ile aynı işlem ticari odun hacimleri için de gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Ticari Odun Kütlesi} = \frac{\text{(Kabuklu Gövde Odunu Kütlesi x Ticari Odun Boyu)}}{\text{Ağaç Boyu}} \quad (3.10)$$

Kabuklu gövde odunu kütlelerinin ilgili örnek ağaçlardaki kabuk kütlelerine oranlanması ile meşcere bazlı birer Kabuk Faktörü hesaplanmıştır. Böylece her örnek alan için toplam kabuk kütlesine ulaşılmıştır. Kabuk kütlelerinin kabuklu gövde odunu miktarlarından çıkartılmasıyla kabuksuz gövde odunu kütleleri hesaplanmıştır. Kabuk faktörünün ticari odun miktarlarına uygulanmasının ardından bu değerin toplamdan çıkartılması ile de kabuksuz ticari odun kütle ve hacimlerine ulaşılmıştır. Bu verilere ulaşılmasının ardından her iki tür için de Boudewyn yaklaşımı ile CBM-CFS3 modeline girdi sağlayacak katsayılar geliştirilmiştir (Şekil 3.6).

CBM-CFS3 modeline gerekli girdi tiplerinin tamamlanmasının ardından FBDC modeli için gerekli bitkisel kütleyi tahmin eden katsaylarının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Tolunay ve diğ. (2007)'nin bulguları arasında ağaç bileşenleri kütlelerin tahmini için çeşitli modeller yer almaktadır. Modellerin bağımlı değişkeni kabuklu gövde odunu hacmidir. FBDC modeline tanıtılmak üzere bu modellerin toprak üstü ağaç bileşenleri arasından ibreler, dallar ait katsayılar kullanılmıştır. Gövde odununa ait tahmin katsayıları yukarıda belirtildiği üzere bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Tolunay ve diğ. (2007)'de çapları 1 cm'de kalın olan kökler için birden fazla kök havuzu bulunmaktadır. Bu sebeple çapları 1 cm'de kalın olan kök verileri örnek alan bazında ayrı bir grup olarak değerlendirilmiş ve kabuklu gövde odunu hacminin bağımlı değişken olduğu $y=ab^x$ cinsinden bir fonksiyon ile tekrar hesaplanmıştır. FBDC modelinin ince kök havuzuna ait tahminler ise yine Tolunay ve diğ. (2007)'den alınan katsayılar ile hesaplanmaktadır. Çalışmada kullanılan katsayılara ait bilgilere *Bulgular* kısmında yer verilmiştir.

3.3.4. Büyüme Çarpanları

Toprak organik karbon stok ve birikimlerini tahminde kullanılan modellerin öncelikle bitkisel kütleyi tahmin etmesi gerekmektedir. Ancak hacim eğrilerinde ya da bitkisel kütle denklemlerinden elde edilen verilerle ölçülen değerlerin birbirinden uzak olduğu durumlar olabilmektedir. Bu gibi durumlarda modellerdeki asıl amaç toprak organik karbon birikim ve stoklarının tahmini olduğu için ölçülen ve tahmin edilen bitkisel kütle miktarlarını örtüştürmek için büyüme çarpanları kullanılabilmektedir. CBM-CFS3 modeli bu genişletme faktörünü toplam bitkisel kütle havuzlarına uygulamaktadır. FBDC modeli için büyüme çarpanı kullanıcının belirlediği bir havuza uygulanabilmektedir. Araştırmada denemesi yapılan 4 simülasyonun ikisinde meşcereye ve gelişim çağına özgü birer büyüme çarpanı uygulanmış ve tahminler bu bitkisel kütle miktarları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Büyüme çarpanlarının belirlenmesi 2. simülasyon sonuçları üzerinden gerçekleştirilmektedir. Her bir örnek alanın toplam bitkisel kütle miktarına ait tahmin ve alan ölçümüne dayanan büyüme çarpanı hesaplanma yöntemi aşağıdaki formülde özetlenmektedir:

$$\text{Büyüme Çarpanı} = \frac{\text{Toplam Bitkisel Kütle Miktarı}_{Tahmin}}{\text{Toplam Bitkisel Kütle Miktarı}_{Ölçüm}} \tag{3.11}$$

Simülasyon 2 sonucunda her meşcere için ayrı ayrı hesaplanan büyüme çarpanları, simülasyon 3'de hesabın yapıldığı ilgili meşcereye uygulanmaktadır. Simülasyon 4 için bu uygulama örnek alanların bulunduğu meşcere tipine göre gerçekleştirilmektedir. Buradan hareketle, Simülasyon 3 meşcereye özgü bir anlayış ile bitkisel kütle tahmini, dolayısıyla karbon tahmini sunmaktadır. Simülasyon 4 ise meşcere tiplerine göre ortak olarak kullanılan tek genişletme faktörü ile karbon havuzlarına dair bitkisel kütle ve karbon tahminlerini gerçekleştirmektedir.

3.3.5. Meşcerelere Dair Karbon Verileri

CBM-CFS3 ve FBDC modellerinin örnek alanlardaki bitkisel kütle tahminlerinin ardından ilgili bitki bileşenleri organik karbon oranları ile çarpılmaktadır. Model simülasyonlarında kullanılmak üzere bitki bileşenlerine göre derlenen karbon oranları ve standart hatalarına Tablo 3.10'de yer verilmiştir. Varsayılan değerler IPCC (2006) tarafından tavsiye edilen 0,5 olarak kullanılmıştır. Araştırma alanına özgü ağaç bileşenleri karbon oranları Tolunay ve diğ. (2017)'den alınmıştır.

Tablo 3.10: Bitki bileşen havuzlarına göre modellerde girdi olarak kullanılan organik karbon oranları ve standart hatalar.

Ağaç Bileşeni	Varsayılan (IPCC, 2006)	Fıstık Çamı (Tolunay ve diğ., 2017)	Sahil Çamı (Tolunay ve diğ., 2017)
Kabuklu Gövde Odunu	0,5	0,5093±0,0014	0,5075±0,0014
Kabuksuz Gövde Odunu	0,5	0,5052±0,0017	0,5041±0,0017
Gövde Kabuğu	0,5	0,5285±0,0020	0,5220±0,0024
İbre	0,5	0,5005±0,0014	0,5126±0,0014
Toplam Dal	0,5	0,5022±0,0065	0,5091±0,0012
Toprak Üstü Bitkisel Kütle	0,5	0,5048±0,0030	0,5079±0,0011
İnce Kök	0,5	0,4838±0,0022	0,4913±0,0022
Kalın Kök	0,5	0,4919±0,0023	0,4936±0,0023
Toprak Altı Bitkisel Kütle	0,5	0,4946±0,0016	0,4984±0,0014
Toplam Bitkisel Kütle	0,5	0,5029±0,0025	0,5061±0,0009

3.3.6. Dökülme Miktar ve Oranları

Kull ve diğ. (2019) göre ÖOM havuzlarının boyutu ve dinamikleri, meşcerelerin gelişimi ile ilgilidir. Bu çalışmada kullanılan modellerin yaklaşımları arasında meşcerenin zamansal olarak ÖOM havuzlarına ait dinamiklerin de simüle edilmesi yer almaktadır. Toprak organik karbonunu tahmin eden modellerde kullanılmak üzere, çalışmanın yapılacağı bölgeler için güncel hava koşulları altında yıllık ölü örtü üretiminin de belirlenmesi ya da tahmini gerekmektedir (Starr ve diğ., 2005).

Araştırma alanından seçilen örnek alanlardaki dökülen ölü örtüyü toplamak üzere laboratuvar ortamında ahşap malzemeden ölü örtü kapanları hazırlanmıştır. 0,5 m derinliğe sahip döküm toplanma haznesi 0,7 mm göz açıklığına sahip sinek telleri kullanılarak yapılan bu kapanların iç alanı 50 x 50 cm = 0,25 m²'dir. Ölü örtü kapanları 2015 yılı Ekim ayında her bir örnek alanın temsili noktalarına 5'er adet gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). Her bir tür için (5 ölü örtü kapanı x 3 meşcere tipi x Her bir meşcere tipi için 7 örnek alan) 140 ölü örtü kapanı olmak üzere araştırma alanına toplamda (2 tür x 105 ölü örtü kapanı) 210 adet ölü örtü kapanı kurulmuştur.



Şekil 3.9: Araziye yerleştirilen ölü örtü kapanları.

Kapanların araziye kurulumunda düz olmalarını sağlamak için su terazisi kullanılmıştır. Bu sayede her bir kapanın -arazinin eğimi gözetilmeksizin- düşeydeki yüzey alanının sabit kalması sağlanmıştır. Ayrıca kapanlar, ölü örtünün biriktiği filenin yerden en az 30 cm yukarıda kalmasını sağlayacak şekilde kurulmuş, araştırma alanının denize yakınlığı sebebi ile oluşabilecek rüzgâr etkilerinin önüne geçebilmek amacı ile ağı oluşturan sinek telleri, kapanı oluşturan bacaklardan bir tanesine naylon ip ile sabitlenmiştir.

Araziye yerleştirilen ve aylık periyodlar hâlinde 1 yıl boyunca toplanmaları esnasında her bir örnek alan için ayrı ayrı kese kâğıtlarına yerleştirilen ölü örtü döküntüleri, arazi dönüşünde vakit kaybetmeden laboratuvar ortamında muhafazalarından çıkartılmış ve kurutma tezgâhlarına yerleştirilmek üzere hazırlanıp ağırlıkları tartılmıştır. Tartılan bu ilk değer, arazideki nem durumunun da belirlenebileceği bir değer olması sebebi ile not edilmiştir. Her bir örnek alana ait ölü örtü döküm bileşenleri laboratuvarda hava kurusu hale gelinceye kadar -tasnif edilmek üzere- bekletilmiştir.

Tasnif işleminin, her bir kapandan çıkan döküntülerin ağaç bileşenleri itibarı ile aşağıdaki başlıklar altında düzenlenmesi ve değerlendirilmesi uygun görülmüştür:

- İbreler,
- Kozalak ve kozalak bileşenleri,
- Dallar,
- Kabuk parçaları,
- Ölü örtü kapanının bulunduğu, meşcerenin hâkim türüne ait ve çoğunlukla tasnif edilemeyecek denli küçük çap ve boyuttaki organik maddeler ile meşcere ve çevresindeki olası diğer türlere ait çeşitli yaprak, dal ve benzeri ağaç bileşenleri. Bileşenlere ayırma esnasında, alanda gerçekleşen ve diğer türlere ait olduğu gözlemlenen bu dökümlerin sadece geniş yapraklı türlere ait olan yapraklardan oluştuğu gözlemlenmiştir.

Laboratuvara getirilen ölü örtü örnekleri tartıldıktan sonra alt örnekler alınarak kurutma fırınında 65 °C'de sabit ağırlığa erişinceye dek kurutulmuş ve tekrar tartılarak kuru madde oranları belirlenmiştir. Bu oranlar kapanlarda biriken örneklere ve kapan ebatlarına uygulanarak hektardaki toplam dökülen ölü örtü miktarı yıllık olarak hesaplanmıştır. Böylece fıstık çamı ve sahil çamı türlerinde her bir bileşenin tüm alanlarda dökülen ölü örtü miktarları kg/ha cinsinden belirlenmiştir. Ağaç bileşenlerinin döküm oranları dökülen ilgili ağaç bileşenin canlı ağaçtaki kütlesine oranı olarak aşağıdaki formülle belirlenmiştir (Ukonmaanaho vd., 2008).

$$DOi = Ai/Bi \tag{3.12}$$

Denklemde *DO* döküm oranı; *i*, ağaç bileşenleri; *A*, ilgili ağaç bileşeninin döküntü içindeki miktarı (kg/ha/yıl) ve *B*, ilgili ağaç bileşeninin canlı ağaç üzerindeki bitkisel kütlesidir (kg/ha).

3.3.7. Ayrışma Oranları

Araştırma alanı topraklarındaki organik karbon miktarının tahmininde kullanılan modellerin başlıca çalışma prensibi, ibre/yaprak, dal, gövde ve benzeri bitkisel kısımların zaman içerisindeki kütle ve kimyasal içerik değişimlerine ve bu değerlerin başlangıç TOK değeri üzerindeki etkilerine dayanmaktadır. Model girdilerini içeren ilgili ağaç bileşenlerinin zaman içerisindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerinin belirlenmesi için ölü örtü kesesi yöntemi kullanılmıştır. Ölü örtü döküm bileşenleri, laboratuvar ortamında 20 x 20 cm boyutlarında 1

mm gözenek açıklığına sahip fiberglas sinek telleri ile hazırlanan ölü örtü keselerine belirli miktarlarda konularak 1 yıllık kütle değişimleri belirlenmiştir.

Keselere yerleştirilen materyaller arasında yer alan ibreler araziye yerleştirilen ölü örtü kapanlarından, diğer ağaç bileşenleri ise Tolunay ve diğ. (2017)'nin arazi çalışmaları esnasında elde edilmiştir.

Ayrışma oranları belirlenmek üzere örnek alanlara yerleştirilen ölü örtü döküm bileşenlerinin aşağıdaki başlıklar altında hazırlanması uygun görülmüştür:

- İbre,
- Kabuk,
- Gövde parçası,
- Bütün kozalak,
- Kılcal kök (Ø>0,2 cm),
- İnce kök (Ø=0,2-1 cm),
- Kalın kök (Ø=1-4 cm),
- Kök kütüğü,
- Sürgün (Ø>1 cm) ve
- Dallar (Ø>1-4 cm).

Her bir tür için (6 demet ölü örtü kesesi x 3 meşcere tipi x 10 ağaç bileşeni x her bir meşcere tipi için 7 örnek alan) 1260 adet olmak üzere araştırma alanına toplamda 2.520 adet ölü örtü kesesi, her bir örnek alanın 3 farklı noktasına yerleştirilmiştir.

İbre ve dalların bulunduğu ölü örtü keseleri orman zeminine (ölü örtü ve mineral toprak arasına), içerisinde kök bileşenlerinin bulunduğu keseler ise mineral toprak ile temas etmeleri açısından bir kürek yardımıyla açılan yaklaşık 5 cm'lik bir derinliğe yerleştirilmiş ve üzerleri çıkan toprak ile örtülmüştür. Ölü örtü keseleri örnek alanlara (birbirlerine misina telleri ile bağlanarak) gruplar hâlinde rastgele dağıtılmış ve her bir örnek alan için keselerin bulunduğu noktaları içeren bir eskiz harita çizilmiştir. Ölü örtü keselerinin her biri, kendisine ait bir seri numarası içeren plakalar ile etiketlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.10: Araziye yerleştirilen ölü örtü ayrışma keseleri.

2017 yılının Mart ayında araziye yerleştirilen keselere ait bilgiler derlenmiş ve bu keselerden her bir örnek alandan (tekrar sayısı gözetilerek) 3'er demet toplanmıştır. Her bir demet yukarıda bahsedilen 10 adet bitkisel kütle bileşenini içermektedir. Keseler laboratuvar ortamında hava kurusu hâle gelmeleri için bir süre bekletilmiştir. Örneklerin üzerindeki kum taneleri ince fırçalar ile kütle kaybına uğratılmayacak şekilde uzaklaştırılmıştır. Her bir bileşenden alt örnekler alınarak bileşenin içerdiği nem oranı yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Ayrışma keselerinin tartılmalarının ardından 65 °C kuru ağırlık bazında kütle kayıpları hesaplanmıştır. Kurutma işlemi sonrasında ayrışma keselerinin içerisine konulan bileşenlere ait kuru madde oranları da hesaplanarak her bir bileşene ait bir veri seti hazırlanmıştır. Keselere ait Başlangıç ve Mart'18 etiketlerini içeren bu veri setinin fırın kurusu (FK), ve dolayısı ile kuru madde ağırlıkları belirlendiğinde, Olson'ın (1963) önerdiği ayrışma katsayısına (k), aşağıdaki denklemler doğrultusunda ulaşılmaya çalışılmıştır:

$$\Delta X/\Delta t = Katılan\ Kütle - Kütle\ Kaybı \tag{3.13}$$

$$dX/dt = L - kX \tag{3.14}$$

Olson'a (1963) göre, yukarıdaki denklemlerde geçen X'in arazideki metrekare başına düşen herhangi bir ağaç bileşen dökümüne ait kütle olduğu kabul edilirse, belirli bir zaman aralığı (t = gün, ay veya yıl) sonrasında net değişim oranı Denklem 3.12'de görüldüğü şekilde olacaktır. Kütle katılımının sabit tutulduğu bir deneyde anlık değişim oranı (L), ΔX ve Δt sıfıra yaklaştıkça sınır değerine (limit) ulaşacaktır (Denklem 3.13). Buradan hareketle, aynı denklemdeki kayıp oranı (*kX*), biriken miktarın (X) ve anlık kısmi kayıp oranının (k) bir ürünü olarak kabul edilebilecek ve bu durum, sabit bir kayıp oranının çeşitli model ve kabullerdeki kullanımı için dikkate alınabilecektir. Bir değer yandan, bu çalışmanın kullanılan keseleme yöntemi ile yapılan çürüme ve ayrışma araştırmalarında, yukarıdan hareketle (kütle katılımının keseler tarafından kısıtlanmış olmasından dolayı) L'nin sıfıra yaklaştığı durumlar söz konusudur. Dolayısıyla böyle bir senaryoda Denklem 3.14'ün yeni durumu aşağıdaki gibi olacaktır:

$$dX/X = -k * dt \tag{3.15}$$

Sabit kesirli bir ağırlık kaybı modeli olarak özetlenebilecek bu denklemde, t = 0 zamanında gerçekleşen bir başlangıç miktarından (X0) kalan miktarın yarı logaritmik grafiğine bakılacak olursa da sabit bir negatif eğim (-k) görülebilecektir. Dolayısıyla deneyden geriye kalan oranın matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki denklemlerde görüldüğü gibi olacaktır:

$$Doğal\ logaritma\ (X/X_0) = -kt \tag{3.16}$$

$$(X/X_0) = e^{-kt} \tag{3.17}$$

Özetlenecek olursa, Olson'ın (1963) önerdiği ve bitkisel kütle ayrışma çalışmalarında literatürde sıklıkla karşılaşılan ayrışma katsayısı (k), belirli bir zaman aralığında gerçekleşen bitkisel kütle kaybına dayanarak aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmıştır:

$$k = -Doğal\ logaritma\ (X_t/X_0) \tag{3.18}$$

Durusu kumul ağaçlandırması alanlarının toprak organik karbon miktarlarını tahmininde kullanılan her iki modelin de işleyişleri itibarı ile çeşitli ağaç bileşenlerine dair döküm oranlarına ihtiyacı vardır. Çalışmanın bu safhasında ibre ve dallara dair döküm oranının hesaplanması yıllık ibre ve dal dökümünün sırasıyla toplam ibre ve dal kütlesine oranlanması ile bulunmuştur ve ilgili türlerin *b, c* ve *cd* meşcerelerinde hesaplanan değerler, ortalamaları alınarak CBM-CFS3 ve FBDC modellerine girdi olarak tanıtılmıştır.

Bu noktada belirtilmesi gereken bir husus, CBM-CFS3 modelinde yer verilen ölü organik madde (ÖOM) havuzlarının çeşitli ağaç bileşenleri yerine özelleştirilmiş bir yapıda ele alınmasıdır. Çalışmada, fıstık çamı ve sahil çamı meşcerelerinin *b, c* ve *cd* gelişim çağlarından seçilen örnek alanlarına yerleştirilen ölü örtü keseleri bu veri setinin altlığını oluşturmaktadır. Durusu kumul ağaçlandırmalarında gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarına girdi olarak, bu havuzlardan toprakaltı ölü organik madde havuzu hariç her biri için bileşen odaklı ya da 2 ve daha fazla bileşene ait ayrışma oranlarının ortalamaları ($\bar{x}$) hesaplanarak ayrışma katsayıları belirlenmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11: CBM-CFS3 Ölü Organik Madde Havuzları ve Girdi Belirleme Yöntemleri.

ÖOM Havuzu	Girdilerin Belirlenmesinde Kullanılan Ağaç Bileşeni
Toprak Üstü ÖOM (Çok Hızlı Ayrışan)	İbre
Toprak Altı ÖOM (Çok Hızlı Ayrışan)	Kılcal Kök
Toprak Üstü ÖOM (Hızlı Ayrışan)	İnce Dal
Toprak Altı ÖOM (Hızlı Ayrışan)	$\bar{x}$(İnce Kök+Kalın Kök+Kök Kütüğü)*
Orta Hızda Ayrışan ÖOM	Kalın Dal
Toprak Üstü ÖOM (Yavaş Ayrışan)	$\bar{x}$(İbre ve İnce Dal Haricinde kalan bileşenler)*
Toprak Altı ÖOM (Yavaş Ayrışan)	*Varsayılan Oran*
Dikili Kurulara ait ÖOM	$\bar{x}$(Gövde+Gövde Kabuğu)*
Düşen Dallara ait ÖOM	$\bar{x}$(İnce Dal+Kalın Dal)*

* $\bar{x}$: Ayrışma oranlarının ortalama değeri.

3.3.8. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri

Çalışmada modellerle tahmin edilen TOK stokları ile ilgili meşcerelerde ölçülen TOK miktarları ile karşılaştırılarak modellerin toprak karbon stoklarındaki tahmininde kullanılıp kullanılamayacağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, her iki ağaç türünün alanda gözlemlenen 3 gelişim çağını 7 tekrarlı örnekleyecek toplamda 42 alana ait TOK miktarları, Tolunay ve diğ. (2017)'den alınmıştır. Söz konusu araştırmada toprak örnekleri 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm ve 70-100 cm derinlik kademelerinden 100 cm^3'lük hacim silindirleri ile 1 litre olarak alınmıştır. Toprak örneklerinde organik karbon içerikleri Walkley Black Islak Yakma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Birim alandaki organik karbon miktarı Denklem 3.19 ile belirlenmiştir.

$$TOK_d = \sum_i^k C_i * \text{İ}TM_i * H_i \quad (3.19)$$

Burada TOK_d 1 m derinlikteki toprak organik karbon miktarı (kg/m^3), C_i i derinlik kademesindeki toprağın organik karbon içeriği (%), $İTM_i$ i derinlik kademesindeki fırın kurusu ince toprak miktarı (Ø< 2 mm) (kg/cm^3), H derinlik kademesi kalınlığı (mm), *i* ve *k* ise derinlik

kademeleridir. Bu şekilde 1 m^3 için hesaplanan toprak organik karbon miktarı daha sonra 1 hektar alandaki değere dönüştürülmüştür (Tolunay ve Çömez, 2008).

Yukarıda belirtildiği üzere, araştırma alanlarında açılan toprak profil çukurları 1 metre derinliğe dek ulaşmaktadır. Bu durum, 1 metre derinlikteki toprakları, organik karbon miktarları itibarı ile simüle edebilen CBM-CFS3 ve FBDC modellerinin kullanımını daha da elverişli hâle getirmiş, dolayısıyla herhangi bir ekstrapolasyona gerek kalmamıştır. Model tanıtımında da değinildiği üzere, CBM-CFS3 modeli varsayılan değerleri arasında simülasyonların başlangıç anında kullanılmak üzere bir toprak organik karbon değeri bulunmaktadır. Kullanıcı tarafından girdilerin modele tanıtılması aşamasında müdahale edilebilen bu değerin, modelin varsayılan değerleri arasında kumullar (ya da benzer ekosistemlere yakın bir mekânsal ünite) olmaması sebebi ise değiştirilmesine karar verilmiştir. Tolunay ve diğ. (2017) tarafından 20 adedi sahilde üzerinde bitki örtüsü olmayan, 5 adedi de iç kesimlerde üzerinde otsu türlerin yer aldığı kumullardan örnekleme yapılarak ağaçlandırılmamış kumulların toprak organik karbon stoku 1,45 t C/ha olarak verilmiştir. Ancak Durusu Kumulunda ağaçlandırmaya geçilmeden önce çayırlandırma çalışmaları yapıldığı için otsu türlerin yer aldığı iç kesimlerdeki ağaçlandırılmamış kumulların 3,49 t C/ha olan TOK stok değeri çalışmada kullanılan her iki modele de (kumulun homojen yapıda olduğu kabul edilerek) simülasyon başlangıç toprak girdisi olarak tanıtılmıştır.

3.3.9. Model Girdilerinin Aktarımı

CBM-CFS3 ve FBDC modellerinin belli bir mekânsal ünitede kullanıcı tarafından beklenen yükümlülüklerini yerine getirmesi için gereken girdi tipleri yukarıda belirtilmiştir. Birbirlerinden bağımsız olarak, kullanılan iki modelin yapıları gereği (i) kendine has bir kullanıcı arayüzü (CBM-CFS3) ve (ii) R programlama dili (FBDC) olmak üzere 2 ayrı ortamda çalıştırılması gerekmektedir. Bir denklemler bütünü olarak özetlenebilen bu modellerin girdi yapıları birbirlerinden farklı olsa dahi, bitkisel kütle verileri (yukarıda da değinildiği üzere) ortak bir veri tabanından elde edilmiştir. Model girdilerini belirlemek üzere oluşturulan veri tabanlarının elde edilmesi esnasında gerçekleştirilen bu değişikliklerin (müdahaleler) nihai amacı, model çıktılarını arazi gözlemleri ile elde edilen değerlere yakınlaştırmak ve her iki modelin de Türk ormancılığı standartları kullanılarak elde edilebilen veri ve katsayılar ile çalıştırılabileceğinin belirlenmesidir. Bu durum Kanada ve Kore Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen, her iki modelin geliştiricileri ile yapılan görüşmelerde tartışılmış ve uygulanabilirliğinin denenmesi kararlaştırılmıştır.

FBDC modeline girdilerin aktarımı, modelin çalıştırıldığı R programlama dilinin kullanıldığı R Studio (2021) arayüzünde sırasıyla örnek alan sayısı, ulaşılacak modelleme sonuçlarının meşcere yaşları ile ilişki kurulabilmesi amacıyla yıl bazında simülasyon süresi, olası sapmaları engellemek amacıyla geliştirilen meşcerelere ait özelleşmiş genişleme katsayıları, ortalama hava sıcaklığı, bitkisel kütle büyüme fonksiyonları, bitkisel kütle tiplerine ait döküm oranı ve ayrışma katsayılarının yer verildiği fonksiyonlar ve son olarak elde edilmek istenen ağaç, ölü örtü ya da meşcere bileşenlerinin belirlenmesine yarayan bitkisel kütle ve karbon havuzlarını model çıktısı olarak veren fonksiyonların yer verilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Mimarisi itibarı ile FBDC modelinin kendine has bir arayüzü bulunmamaktadır. Bu yüzden model çıktıları MS Excel (Microsoft, 2015a) çalışma sayfası hâlinde düzenlenmek üzere kodlar üzerinde değişikliğe gidilmiş ve değerlendirme aşamalarına bu dokümanlar üzerinden yola çıkılmıştır.

CBM-CFS3 modelinde girdilerin aktarımı, modelin yapısı itibarı ile geleneksel olarak adlandırılan bir Meşcere-Düzeyinde Projelendirme çalışması hâlinde gerçekleştirilmiştir. Yukarıda da belirtildiği üzere, CBM-CFS3 modeli, bünyesinde Kanada peyzaj ve ekosistemlerine özgü (ekozon, tür, cins, orman tipi vb.) değer ve katsayılara veri tabanları hâlinde yer vermektedir. Bu veri tabanları hâlihazırda kullanılabildiği gibi kullanıcının tercih etmesi durumunda bu mekânsal ünitelere çeşitli müdahalelerde bulunabilmekte ya da başlı başına yeni üniteler oluşturabilmektedir. Benzer şekilde, modelin meşcere düzeyinde kullanılacağı bir projelendirme süreci, model çıktılarının alınması öncesinde çeşitli katsayıların değiştirebilmesini de olanaklı kılmaktadır. Tolunay ve diğ. (2017) envanter verileri üzerinden ve alanda yapılan ölü örtü birikimi ve ayrışması çalışmaları neticesinde çeşitli denklemlerde kullanılmak üzere geliştirilen katsayılar CBM-CFS3 modelinin asli girdilerini oluşturmaktadır.

CBM-CFS3 modelinin Meşcere-Düzeyinde Projelendirme çalışması, aşağıda yer verilen 7 ana başlık hâlinde tamamlanmıştır:

1. Proje için temel özelliklerin ayarlanması,
2. Proje için isteğe bağlı (opsiyonel) özelliklerin ayarlanması,
3. Meşcere niteliklerinin başlangıç seviyesi açısından tanımlanması,
4. Meşcere niteliklerinin silvikültürel müdahaleler açısından tanımlanması,
5. Silvikültürel müdahalelerin zamanlaması,
6. Meşcereye ait büyüme ve verim bilgilerinin girilmesi ve
7. Proje parametrelerinin bölgesel farklılıklar sebebi ile değiştirilmesi.

Her bir *Meşcere-Düzeyinde Projelendirme* çalışması için CBM-CFS3 modelinin çalışma prensibi gereği bir başlangıç ekozonuna karar verilmesi gerekmektedir. Durusu kumul ağaçlandırması alanlarına ait ekosistem özellikleri bakımından modelleme çalışmalarının yöresel özelliklerinin (sonradan üzerinde çeşitli değişikliklerin yapılması kaydı ile) *Nova Scotia* (Kanada) idari biriminin Atlas okyanusu kıyılarında yer alan *Atlantic Maritime* ekozonu ile eşleştirilmesi uygun görülmüştür. Bu kabulün sebebi, adı geçen ekozonun sahil kumullarına ve bu kumulların ardında ise yöresel olarak meşe ve çam türlerini de içeren karışık Akadyan tipinde ormanlara sahip olmasıdır (The Ecological Framework of Canada, 2020; Macphail Woods, 2020).

3.3.10. Model Çıktılarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Bir sistem üzerinde çeşitli modellerin denenmesi arazi, laboratuvar veya ofis çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular (*Ölçümler*) ile kullanılan modellere ait çıktıların (*Tahminler*) birbirleri ile karşılaştırılması ve tartışılması ile gerçekleşmektedir. Durusu kumul ağaçlandırması alanlarındaki toprak organik karbon miktarının tahmininde CBM-CFS3 ve FBDC modellerinin karşılaştırılabilmesi için model çıktılarının ortak bir veri tipi ve düzeninde olması gerekmektedir. Dolayısıyla, girdi tiplerine ortak hesaplama yöntemleri ile erişilmesi kadar simülasyon safhalarının da model farklılıkları gözetilmeksizin hiyerarşik olarak ortak bir yönde ilerlemesi ancak kıyaslanacak verilerin birbirleri ile olan yapısal uyumu ile sağlanacaktır.

Model denemeleri için simülasyonlar, yani benzetim süreçleri kullanılmaktadır. Simülasyon terimi, TSE (2006) tarafından soyut ya da başlı başına fiziksel bir sistemin kullanıcı(lar) tarafından seçilmiş işleyiş özelliklerini temsil etmek adına bir veri işlem sisteminin kullanımı olarak tanımlanmaktadır.

Araştırma alanındaki ölçümlerin model tahminleriyle kıyaslanması 4 adet simülasyon çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı tanımlarına aşağıda yer verilen ve birbirini takip eden 4 aşamalı bu simülasyon serisi şu şekilde özetlenebilir: Kullanıcı tarafından belirlenen karbon havuzlarının ölçülen miktarlar ile kıyaslanması için bir örnek alandaki meşcerenin (1) modele özgü varsayımlarla, (2) Durusu kumul ağaçlandırma alanına özgü ekolojik parametrelerlerle, (3) toplam bitkisel kütle miktarının genişletilmesiyle ve (4) toplam bitkisel kütlenin meşcere tipine özgü ortak bir genişletme faktörüyle hesaplanması sonucunda 5 farklı karbon havuzundaki miktarların 2 model ile tahmin edilmesi sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon 1 (S1): CBM-CFS3 modelinin *varsayılan* ekosistem değer ve katsayılarına ek olarak yalnızca örnek alanlara ait hacim eğrileri ve başlangıç için bir toprak organik karbon değeri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon çalışmasıdır. FBDC modelinin ise *varsayılan* bir değer ve katsayılar veri tabanı bulunmamaktadır. Simülasyon 1'in iki modelde de ortak bir işleyiş ile ilerlemesi adına, FBDC modeline girilen varsayımlı ekosistem verilerine çeşitli eklemelerde bulunulmuştur. Bu eklentiler, CBM-CFS3 modelindeki varsayımlı değişkenlerin yanı sıra, ilgili türe göre geliştirilmiş bitkisel kütle bileşenlerini belirleme katsayıları ve başlangıç için bir toprak organik karbon miktarı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon 2 (S2): Simülasyon 1'de kullanılan özgün değerlere ek olarak; Durusu kumul ağaçlandırması alanları meşcerelerine ait iklim, bitkisel kütle (bileşen miktarları, ölü örtü dökümü, ayrışması vb.) veri ve katsayıların girdi olarak işlendiği simülasyon çalışmasıdır. Simülasyon çıktıları, meşcerelere özgü veriler sonucunda elde edilen ve her bir meşcereye göre değerlendirilmiş toprak organik karbon miktarlarını (t C/ha) içermektedir.

Simülasyon 3 (S3): Altlık veri olarak Simülasyon 2'yi kullanır. Durusu kumul ağaçlandırması alanları meşcerelerine ait veri ve katsayılar ile birlikte gerçeğe yakın toplam bitkisel kütleye (TBK) erişmek adına, her bir meşcerenin TBK miktarlarına meşcere bazlı bir büyüme çarpanı (BÇ) uygulanmış simülasyon çalışmasıdır. Simülasyon çıktıları, meşcerelere özgü BÇ ile elde edilen sonuçların her bir meşcereye göre belirlenmiş toprak organik karbon miktarlarını (t C/ha) içermektedir.

Simülasyon 4 (S4): Simülasyon 3'den elde edilen büyüme çarpanlarının (BÇ) meşcere bazlı ortalamaları ile değerlendirildiği simülasyon çalışmasıdır. Dolayısıyla Simülasyon 3'ün model girdileri, her bir meşcereden elde edilen sonuçların ortak bir BÇ ile işlenmesi ile değerlendirilmekte ve çıktı olarak meşcere tipine göre belirlenmiş toprak organik karbon miktarlarını (t C/ha) içermektedir.

Simülasyon sonuçlarının istatistiki olarak değerlendirilmesi aşaması ilgili örnek alanlara ait ölçüm sonuçlarının model tahminleri ile kıyaslanmasına dayanmaktadır. Dâhili bir arayüzü olmasına rağmen CBM-CFS3 modelinin çıktıları FBDC model çıktılarına benzer şekilde analiz ve dolayısıyla kıyas kolaylığı açısından MS Excel programına aktarılmıştır. Her iki model için de bu değerlerden elde edilen toprak organik karbon miktarları ile Tolunay ve diğ. (2017) tarafından üretilen verilerinden elde edilen toprak organik karbon miktarları ilişkiye getirilerek çalışma alanındaki toprakların sahip olduğu ve tahmin edildiği organik karbon miktarları verilerin normal dağılım göstermemesi nedeniyle parametrik olmayan testlerden Wilcoxon testi ile karşılaştırılmıştır. Böylece CBM-CFS3 ve FBDC isimli modellerin Durusu kumul ağaçlandırması alanları ve benzeri alanlarda kullanılabilirliği tartışmaya sunulmuştur.

Çalışmada kullanılan yöntemler sonucunda elde edilen denklem katsayıları, belirlenen bitkisel kütle ve ölü örtü miktarları, ayrışma oranları ve CBM-CFS3 ve FBDC modelleri yardımı ile tahmin edilen toprak organik karbon miktarlarına *Bulgular* kısmında her iki ağaç türü için Durusu kumul ağaçlandırması alanları özelinde yer verilmiştir.

Simülasyon sonuçlarının elde edilmesinin ardından fıstık çamı ve sahil çamı meşcerelerinde belirlenen 5 adet karbon havuzundaki yıllık karbon değişimleri de çalışma sonuçlarına eklenmiştir. 50 yıllık bir süre için gerçekleştirilen simülasyonlarda her bir havuz için yıllık değişimler, ilgili havuzun ardışık 2 yılına ait karbon değerlerinin farkının alınması ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR

Durusu kumul ağaçlandırma alanları topraklarındaki organik karbon miktarılarının tahmininde kullanılan CBM-CFS3 ve FBDC isimli modellere hazırlık ve denetleme amacıyla kullanılan örnek alan verileri, model girdileri ve çıktıları aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

4.1. ÖRNEK ALAN VERİLERİ

4.1.1. Hacim ve Bitkisel Kütle Verileri

CBM-CFS3 ve FBDC modellerinin toprak organik karbon miktarlarını tahmin ederken izlediği yol, modellere tanıtılan girdiler ile meşcerelere ait hacmin tahmini ile başlamaktadır. CBM-CFS3 modeline meşcere yaşlarına karşılık gelen kabuksuz ticari odun miktarı (KzTO, m^3/ha) tanıtılmış, FBDC modelinin hacim tahminleri için ise modelin yaşa bağlı olarak kabuklu gövde odununu (KGO) hesaplamasına yarayan katsayılar geliştirilmiştir. Katsayı modellerinin oluşturulmasında KGO'ya ait örnek alan gözlemleri kullanılmıştır. Gövde odunun ticari kısmı ve bu iki bileşenin kabuklu ve kabuksuz hâlleri hesaplanmıştır. Fıstık çamı ve sahil çamı örnek alanlarına ait hacim verilerinin meşcere tiplerine göre dağılımı Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Örnek alanların hepsindeki hacim verileri Ek 1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Fıstık çamı meşcerelerinde belirlenen hacim değerleri (m^3/ha) (n=21).

		KGO (m^3/ha)	KzGO (m^3/ha)	KTO (m^3/ha)	KzTO (m^3/ha)
Çfb	Ortalama	86,97	68,69	72,68	57,43
	Standart Hata	25,68	20,67	21,94	17,66
	Minimum	34,78	27,03	28,87	22,44
	Maksimum	188,37	149,65	159,39	126,63
Çfc	Ortalama	166,46	136,64	147,27	120,90
	Standart Hata	30,92	25,58	28,81	23,82
	Minimum	68,03	55,71	61,47	50,34
	Maksimum	265,18	217,80	239,99	197,11
Çfcd	Ortalama	164,42	139,79	153,19	130,24
	Standart Hata	9,32	7,71	8,55	7,06
	Minimum	142,74	121,49	131,13	111,61
	Maksimum	216,24	183,03	200,23	169,47
Çf Genel Ortalama	Ortalama	139,28	115,04	124,38	102,86
	Standart Hata	15,45	12,96	14,34	12,05
	Minimum	34,78	27,03	28,87	22,44
	Maksimum	265,18	217,80	239,99	197,11

KGO: Kabuklu gövde odunu, KzGO: Kabuksuz gövde odunu, KTO: Kabuklu ticari odun, KzTO: Kabuksuz ticari odun.

Tablo 4.2: Sahil çamı meşcerelerinde belirlenen hacim değerleri (m^3/ha) (n=21).

		KGO (m^3/ha)	KzGO (m^3/ha)	KTO (m^3/ha)	KzTO (m^3/ha)
Çmb	Ortalama	187,90	135,47	162,75	117,86
	Standart Hata	30,47	27,44	29,51	26,03
	Minimum	100,14	65,45	84,90	51,63
	Maksimum	323,89	255,03	301,81	237,64
Çmc	Ortalama	386,51	322,70	356,33	297,51
	Standart Hata	33,77	28,02	31,01	25,74
	Minimum	295,29	246,37	271,99	226,94
	Maksimum	516,05	430,58	475,34	396,60
Çmcd	Ortalama	545,45	477,43	462,85	404,58
	Standart Hata	56,57	51,65	45,03	40,53
	Minimum	267,76	226,78	249,04	210,93
	Maksimum	752,39	667,75	577,17	516,17
Çm Genel Ortalama	Ortalama	373,29	311,87	327,31	273,32
	Standart Hata	39,96	37,39	34,02	31,59
	Minimum	100,14	65,45	84,90	51,63
	Maksimum	752,39	667,75	577,17	516,17

KGO: Kabuklu gövde odunu, KzGO: Kabuksuz gövde odunu, KTO: Kabuklu ticari odun, KzTO: Kabuksuz ticari odun.

Sahada gözlemlenen hacim verilerinin değerlendirilmesi aşamasının ardından model çıktılarının karşılaştıralacağı çeşitli karbon havuzlarındaki stoklar Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Fıstık çamı meşcerelerinde havuzlardaki karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		Toplam Bitkisel Kütle	Ölü Örtü	Ölü Odun	Toprak Organik Karbonu	Toplam Ekosistem
Çfb	Ortalama	49,20	12,60	1,93	7,38	71,11
	Standart Hata	14,28	4,52	0,42	0,93	18,64
	Minimum	20,24	6,70	0,12	4,52	36,52
	Maksimum	106,87	39,43	2,91	11,59	160,28
Çfc	Ortalama	88,15	16,04	3,79	11,63	119,62
	Standart Hata	16,06	4,84	2,25	1,96	20,31
	Minimum	36,12	5,58	0,49	4,64	61,86
	Maksimum	139,47	41,12	17,12	18,90	198,78
Çfcd	Ortalama	80,92	19,93	7,11	27,56	135,52
	Standart Hata	4,65	2,68	0,94	2,43	7,20
	Minimum	69,89	9,63	3,86	19,80	106,04
	Maksimum	106,48	30,61	10,77	35,94	169,86
Çf Genel Ortalama	Ortalama	72,76	16,19	4,28	15,52	108,75
	Standart Hata	7,92	2,36	0,92	2,20	10,89
	Minimum	20,24	5,58	0,12	4,52	36,52
	Maksimum	139,47	41,12	17,12	35,94	198,78

Tablo 4.4: Sahil çamı meşcerelerinde havuzlardaki karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		Toplam Bitkisel Kütle	Ölü Örtü	Ölü Odun	Toprak Organik Karbonu	Toplam Ekosistem
Çmb	Ortalama	83,28	9,12	1,42	9,57	103,39
	Standart Hata	11,48	0,85	0,22	1,79	12,92
	Minimum	43,98	5,92	0,42	4,52	58,01
	Maksimum	136,57	12,26	2,32	16,88	157,61
Çmc	Ortalama	134,93	10,39	2,17	12,31	159,79
	Standart Hata	14,79	0,78	0,25	0,64	15,07
	Minimum	96,10	7,22	1,64	10,98	117,11
	Maksimum	209,79	14,19	3,55	15,70	235,25
Çmcd	Ortalama	155,77	20,00	2,28	17,25	195,29
	Standart Hata	15,48	3,21	0,29	3,04	15,51
	Minimum	75,17	9,87	1,19	9,93	123,92
	Maksimum	203,81	31,14	3,25	33,24	246,69
Çm Genel Ortalama	Ortalama	124,66	13,17	1,95	13,04	152,83
	Standart Hata	10,27	1,53	0,16	1,34	11,62
	Minimum	43,98	5,92	0,42	4,52	58,01
	Maksimum	209,79	31,14	3,55	33,24	246,69

4.1.2. Ölü Örtü Dökümü ve Bitkisel Kütle Ayrışma Oranları

Fıstık çamı türünün her meşcere tipinde dökülen baskın ölü örtü bileşeni ibrelerdir. Fıstık çamlarındaki ortalama ibre döküm miktarı 2,14 ile 5,94 t/ha/yıl arasındadır. En düşük değer *b* meşcerelerinde, en yüksek değer ise *c* meşcerelerinde gözlemlenmiştir. İbre dökümleri *cd* meşcerelerinde düşüşe geçmektedir. İbre dökümlerinin ortalaması 3,87±0,20 t/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Benzer bir eğilim kozalak dökümlerinde gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Fıstık çamı meşcerelerinde gözlemlenen ölü örtü döküm miktarları (t/ha/yıl) (n=21).

		İbre	Kozalak	Dal	Kabuk	Diğer Organik Madde	Toplam Döküm
Çfb	Ortalama	3,52	0,09	0,15	0,17	0,25	4,19
	Standart Hata	0,29	0,05	0,09	0,08	0,07	0,47
	Minimum	2,14	< 0,01	< 0,01	0,02	0,12	2,36
	Maksimum	4,39	0,31	0,57	0,61	0,59	6,02
Çfc	Ortalama	4,68	0,43	0,22	0,27	0,57	6,17
	Standart Hata	0,33	0,17	0,09	0,07	0,11	0,45
	Minimum	3,76	< 0,01	0,01	0,09	0,15	4,30
	Maksimum	5,94	1,14	0,59	0,55	1,02	7,82
Çfcd	Ortalama	3,41	0,20	0,31	0,32	0,58	4,82
	Standart Hata	0,17	0,02	0,06	0,04	0,04	0,22
	Minimum	2,94	0,15	0,18	0,20	0,43	4,01
	Maksimum	4,00	0,26	0,54	0,51	0,76	5,67
Çf Genel Ortalama	Ortalama	3,87	0,24	0,23	0,25	0,47	5,06
	Standart Hata	0,20	0,06	0,05	0,04	0,05	0,28
	Minimum	2,14	< 0,01	< 0,01	0,02	0,12	2,36
	Maksimum	5,94	1,14	0,59	0,61	1,02	7,82

İbreler dışındaki bileşenlerden kozalak parçaları, dallar ve kabuklarının miktarları birbirine oldukça yakındır. *Diğer - Organik Madde* olarak sınıflandırılan ince tekstürlü ve karışık ölü örtü bileşen miktarı ibre haricindeki kalan tüm bileşenlerden daha fazladır. Saha ve laboratuvar

çalışmaları sonucunda dökülen dalların 1 cm ve altında çaplara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Dökülen dal miktarları maksimum 0,59 t/ha/yıl değerine ulaşabilmektedir. Yıllık ortalama dal dökümü 0,23 t/ha/yıl, standart hatası ise 0,05 t/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Fıstık çamı meşcerelerindeki toplam ölü örtü döküm miktarı 2,36 ile 7,82 t/ha/yıl arasında değişmekte olup, ortalama 5,06±0,28 t/ha/yıl olarak belirlenmiştir (Tablo 4.5).

Sahil çamı örnek alanlarında fıstık çamı meşcerelerine benzer şekilde ibre dökümü diğer bileşenlere göre oldukça fazladır ve 4,24±0,14 t/ha/yıl olarak ölçülmüştür İbre dökümleri 2,09 ile 5,22 t/ha/yıl arasında değişmektedir ve en düşük döküm miktarı *b* meşcerelerinde, en yüksek miktar ise *cd* meşcerelerindedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Sahil çamı meşcerelerinde gözlemlenen ölü örtü döküm miktarları (t/ha/yıl) (n=21).

		İbre	Kozalak	Dal	Kabuk	Diğer Organik Madde	Toplam Döküm
Çmb	Ortalama	3,90	0,17	0,40	0,01	0,40	4,88
	Standart Hata	0,31	0,11	0,30	< 0,01	0,11	0,62
	Minimum	2,09	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,10	2,20
	Maksimum	4,48	0,83	2,21	0,03	0,83	7,72
Çmc	Ortalama	4,35	0,40	0,66	0,05	0,52	5,99
	Standart Hata	0,15	0,13	0,35	0,01	0,05	0,50
	Minimum	3,87	0,03	0,05	0,02	0,38	4,64
	Maksimum	4,96	0,78	2,71	0,09	0,71	8,56
Çmcd	Ortalama	4,48	0,81	0,36	0,09	0,65	6,39
	Standart Hata	0,24	0,53	0,06	0,02	0,04	0,43
	Minimum	3,48	0,04	0,16	0,02	0,50	5,07
	Maksimum	5,22	3,70	0,65	0,20	0,83	8,37
Çm Genel Ortalama	Ortalama	4,24	0,46	0,47	0,05	0,52	5,75
	Standart Hata	0,14	0,19	0,15	0,01	0,05	0,32
	Minimum	2,09	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,10	2,20
	Maksimum	5,22	3,70	2,71	0,20	0,83	8,56

Sahil çamlarında dallar haricinde kalan tüm bileşenlere ait dökümler meşcere çap sınıfıyla birlikte artmaktadır. İbrelerin ardından ölü örtü birikiminin çoğunlukla dal ve kozalak parçaları ile gerçekleştiği görülmektedir. İbreleri 0,52±0,05 t/ha/yıl ile diğer organik madde, 0,47±0,15 t/ha/yıl ile dallar ve 0,46±0,14 t/ha/yıl ile kozalaklar izlemektedir. Toplam döküm ise 2,20-8,56 t/ha/yıl arasında değişmekte olup, ortalama yıllık döküm 5,75 t/ha/yıl'dır (Tablo 4.5).

Araştırmanın fıstık çamı örnek alanlarında gerçekleştirilen ağaç bileşenlerinin ayrışma oranları Tablo 4.7'de özetlenmiştir. Fıstık çamlarında en hızlı ayrışan ağaç bileşenleri kılcal kökler (k=0,46±0,02) ve ibrelerdir (k=0,42±0,02). İbreler en hızlı *c* meşcerelerinde ve kılcal kökler ise *cd* meşcerelerinde ayrışmaktadır.

Tablo 4.7: Fıstık çamı meşcerelerinde gözlemlenen 1 yıllık ayrışma (k) oranları (n=21).

		İbre	İnce Dal	Kalın Dal	Gövde Parçası	Gövde Kabuğu	Kozalak	Kılcal Kök	İnce Kök	Kalın Kök	Kök Kütüğü
Çfb	Ort.	0,41	0,17	0,09	0,08	0,05	0,14	0,39	0,33	0,20	0,16
	Std.Ht.	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04
	Min.	0,31	0,07	0,04	0,04	0,01	0,04	0,24	0,18	0,09	0,04
	Mak.	0,55	0,31	0,14	0,10	0,09	0,29	0,46	0,48	0,35	0,38
Çfc	Ort.	0,43	0,24	0,09	0,11	0,06	0,19	0,44	0,33	0,21	0,21
	Std.Ht.	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04
	Min.	0,27	0,12	0,02	0,05	0,03	0,12	0,37	0,25	0,06	0,06
	Mak.	0,55	0,38	0,21	0,16	0,09	0,33	0,50	0,39	0,43	0,33
Çfcd	Ort.	0,42	0,28	0,15	0,11	0,06	0,13	0,56	0,41	0,31	0,24
	Std.Ht.	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03
	Min.	0,30	0,18	0,11	0,10	0,01	0,06	0,42	0,36	0,15	0,20
	Mak.	0,54	0,34	0,20	0,18	0,09	0,21	0,71	0,51	0,45	0,34
Çf Genel Ortalama	Ort.	0,42	0,23	0,11	0,10	0,05	0,15	0,46	0,36	0,24	0,20
	Std.Ht.	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
	Min.	0,27	0,07	0,02	0,04	0,01	0,04	0,24	0,18	0,06	0,04
	Mak.	0,55	0,38	0,21	0,18	0,09	0,33	0,71	0,51	0,45	0,38

Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

Toprak üstü kısımda ibrelerin ardından en hızlı ayrışmanın ince dallarda (k=0,23±0,02), en yavaş ayrışmanın ise gövde kabuklarında (k=0,05±0,01) gerçekleştiği görülmektedir (Tablo 4.7). Meşcerelerin toprak altı kısmında, kök bileşenlerinin çapları arttıkça ayrışma oranları düşmekte ve meşcere çağları geliştikçe ayrışma olayları hızlanmaktadır. Uç değerler incelendiğinde toprak altı kısımda en hızlı ayrışan bitki bileşeninin kılcal kökler (k=0,71 ile *cd* meşcereleri), en yavaş ayrışanın ise kök kütüğü (k=0,04 ile *b* meşcereleri) olduğu görülmektedir (Tablo 4.7).

Tablo 4.8: Sahil çamı meşcerelerinde gözlemlenen 1 yıllık ayrışma (k) oranları (n=21).

		İbre	İnce Dal	Kalın Dal	Gövde Parçası	Gövde Kabuğu	Kozalak	Kılcal Kök	İnce Kök	Kalın Kök	Kök Kütüğü
Çmb	Ort.	0,39	0,16	0,13	0,11	0,06	0,08	0,39	0,35	0,26	0,09
	Std.Ht.	0,04	0,03	0,02	0,06	0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,02
	Min.	0,30	0,06	0,07	0,02	0,02	0,02	0,33	0,21	0,10	0,03
	Mak.	0,62	0,25	0,22	0,46	0,12	0,23	0,44	0,45	0,42	0,17
Çmc	Ort.	0,40	0,18	0,13	0,04	0,06	0,05	0,34	0,29	0,13	0,09
	Std.Ht.	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01
	Min.	0,34	0,08	0,07	0,01	0,02	0,03	0,27	0,20	0,04	0,04
	Mak.	0,51	0,33	0,29	0,08	0,09	0,10	0,36	0,37	0,26	0,13
Çmcd	Ort.	0,55	0,26	0,16	0,07	0,06	0,07	0,36	0,37	0,28	0,11
	Std.Ht.	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,02
	Min.	0,44	0,14	0,02	0,02	0,05	0,05	0,27	0,21	0,09	0,04
	Mak.	0,65	0,37	0,24	0,16	0,07	0,08	0,42	0,47	0,47	0,17
Çm Genel Ortalama	Ort.	0,45	0,20	0,14	0,07	0,06	0,07	0,36	0,34	0,22	0,10
	Std.Ht.	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
	Min.	0,30	0,06	0,02	0,01	0,02	0,02	0,27	0,20	0,04	0,03
	Mak.	0,65	0,37	0,29	0,46	0,12	0,23	0,44	0,47	0,47	0,17

Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

Sahil çamlarına ait ayrışma oranlarına bakıldığında fıstık çamlarına benzer şekilde en hızlı ayrışan topraküstü ağaç bileşenlerinin ibreler (k=0,45±0,02), toprak altı ağaç bileşenin ise (k=0,36±0,02) kılcal kökler olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.8). Toprak üstü kısımlardaki bileşenlerde ibrelerin ardından en hızlı ayrışma ince dallarda gerçekleşmektedir. Kök grubunda ise ayrışma oranları *c* meşcerelerinde düşmekte, *cd* meşcerelerinde yeniden yükselmektedir. Kılcal kökler ile ince köklerin ayrışma oranları birbirlerine oldukça yakındır (Tablo 4.8).

4.2. MODEL GİRDİLERİ

Araştırmada kullanılan modellere girdi olarak tanıtılan verilere dair oran, miktar ve katsayılar aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

4.2.1. Hacim Tahmininde Kullanılan Katsayılar

Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında girdi olarak gereken gövde hacmini belirleme katsayılarına Tablo 4.9'de yer verilmiştir.

FBDC modelinin kullandığı yaşa bağlı kabuklu gövde hacim değerleri modele katsayı olarak tanıtılmaktadır. Gompertz fonksiyonuna uygun olarak geliştirilen denklemin katsayıları fıstık çamı meşcereleri için (a) 302,4534 (b) -4,4330 ve (c) -0,0640 olarak belirlenmiştir. Modelin R^2 değeri 0,9912'dir. Sahil çamı için geliştirilen denklemde katsayılar (a) 1191,9425 (b) -5,1628 ve (c) -0,0436, R^2 değeri ise 0,9984'dür (Tablo 4.9). Her iki denklem de istatistiksel olarak önemlidir.

Tablo 4.9: Modellerde girdi olarak kullanılmak üzere gövde hacmini tahmin etmede kullanılan model ve katsayılar.

Tür	Ağaç Bileşeni	Bağımlı Değişken	Model	a	b	c	R^2
Fıstık Çamı	KGO (m^3/ha)	Yaş	$y = a*e^{(b*e^{\wedge}(c*x))}$	302,4534	-4,4330	-0,0640	0,9912
	KzTO (m^3/ha)	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,4295	1,1069	-	0,9900
Sahil Çamı	KGO (m^3/ha)	Yaş	$y = a*e^{(b*e^{\wedge}(c*x))}$	1191,9425	-5,1628	-0,0436	0,9984
	KzTO (m^3/ha)	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,2237	1,1959	-	0,9397

KGO: Kabuklu gövde odunu, KzTO: Kabuksuz ticari odun.

CBM-CFS3 modelinin kullandığı yaşa bağlı kabuksuz ticari odun hacim değerlerine $y=ab^x$ denklem türüne uyacak katsayılar ile ulaşılmıştır. Modelin bağımlı değişkeni kabuklu gövde odunu hacmidir. Fıstık çamı meşcereleri için hacim modeli katsayıları (a) 0,4295 ve (b) 1,1069,

sahil çamı meşcerelerinde ise (a) 0,4295 ve (b) 1,1069 olarak hesaplanmıştır. Modellerin R^2 değerleri sırasıyla 0,99 ve 0,9397'dir. CBM-CFS3 ve FBDC modelleri için de geliştirilen denklemler istatistiksel açıdan önemli sonuçlar içermektedir (Tablo 4.9).

4.2.2. Bitkisel Kütle Katsayıları ve Büyüme Çarpanları

CBM-CFS3 modelindeki bitkisel kütle miktarlarının tahmini Boudewyn yaklaşımı ile elde edilmektedir. Modelin çam türleri için varsayılan katsayıları, ticarete konu olabilecek çaptaki ağaç gövdelerine sahip meşcerelerde (a) 0,5177, (b) 0; ticari olmayan ağaç faktörü için (a) 5,4317, (b) -0,87278, (k) 0,93305 ve fidan faktörü için (a) 0, (b) 0 ve (k) 1 olarak kararlaştırılmıştır (Kull ve diğ., 2019). Araştırmada Bodewyn yaklaşımındaki Senaryo 1'e ait denklemler kullanılmıştır. Ticari göğüs yüksekliği çapına sahip ağaçlardan oluşan meşcerelerdeki toplam ağaç gövdelerinin tahmini için geliştirilen katsayılar fıstık çamlarında (a) 0,3488, (b) 1,0497, sahil çamlarında ise (a) 1,1768; (b) 0,8187 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: Boudewyn yaklaşımına göre hesaplanan bitkisel kütle tahmin katsayıları.

	Varsayılan			**Fıstık Çamı**			**Sahil Çamı**		
Katsayılar	**BK_{Ticari}**	**F_{TO}**	**F_{Fdn}**	**BK_{Ticari}**	**F_{TO}**	**F_{Fdn}**	**BK_{Ticari}**	**F_{TO}**	**F_{Fdn}**
a	0,5177	5,4317	0,0000	0,3488	0,0000	0,0000	1,1768	0,0000	0,0000
b	0,9531	-0,8728	0,0000	1,0497	0,0000	0,0000	0,8187	0,0000	0,0000
k		0,9331	1,0000		1,0000	1,0000		1,0000	1,0000

BK_{Ticari}: Ticari Odun Bitkisel Kütlesi; F_{TO}: Ticari Olmayan Gövde Odunu Faktörü; F_{Fdn}: Fidan Faktörü.

Saha ölçümleri ve envanter karnelerinde Durusu kumul ağaçlandırma alanlarındaki meşcerelerin tek tabakalı olduğu gözlemlenmiştir. Ağaç boyları birbirine yakındır. Diri örtü ve gençlik yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla, örnek alan olarak seçilen meşcerelerde ticari olmayan ağaçlar ve fidan sınıfında birey bulunmadığı kabul edilebilmektedir. Buradan hareketle, CBM-CFS3 modelinde kullanılmak üzere araştırma alanı meşcerelerinde yalnızca ticari çapa sahip ağaçlardaki bitkisel kütlenin ton/ha cinsinden tahminine yarayacak katsayıların geliştirilmesi uygun görülmüştür. Ticari olmayan ve fidanlara ait çap kademelerindeki ağaç gövdelerinin tahmini için gereken katsayılar 2. ve sonraki model simülasyonlarında (a) 0, (b) 0, ve (k) 1 olarak modele tanıtılmıştır (Tablo 4.10).

Ağaç bileşenlerinin toplam bitkisel kütleye oranlarını tahmin etme işlemi Denklem 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7 kullanılarak tamamlanmıştır. CBM-CFS3 modelinde kullanıcıya sunulan ve *varsayılan* olarak kabul edilen katsayıların yerine, Durusu kumul ağaçlandırma alanlarında bulunan fıstık

çamı ve sahil çamı meşcerelerinin simülasyonlarında kullanılmak amacıyla geliştirilen katsayılar Tablo 4.11'de sunulmuştur.

Tablo 4.11: CBM-CFS3 modelinde ağaç bileşenlerinin oran tahmininde kullanılan katsayılar.

	a1	**a2**	**a3**	**b1**	**b2**	**b3**	**c1**	**c2**	**c3**
Varsayılan	-1,3785	-0,0003	-0,0731	0,6631	0,0012	-0,4132	0,0215	0,0002	-0,3804
Fıstık Çamı	0,9103	0,0051	-0,6514	2,5179	0,0046	-0,6709	2,6648	0,0079	-1,1510
Sahil Çamı	3,6153	0,0012	-0,9899	4,7453	0,0032	-1,2633	4,5483	0,0038	-1,4445

FBDC modelinde uygulanan simülasyonlarda bitkisel kütleyi tahmin eden katsayılar Tolunay ve diğ. (2017)'den ve bu araştırmada yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Bitki bileşenlerini (t/ha) cinsinden veren ve ağaç türlerine göre ayrılmış denklem katsayılarına Tablo 4.12'de yer verilmiştir.

Tablo 4.12: FBDC modelinde kullanılan ağaç bileşenlerinin tahmininde kullanılan katsayılar.

Tür	**Ağaç Bileşeni (t/ha)**	**Bağımlı Değişken**	**Model**	**a**	**b**	**R^2**	**Kaynak**
Fıstık Çamı	KGO	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,2382	1,1210	0,9914	Bu Çalışma
	İbre	KGO (m^3/ha)	$y = ax + b$	0,0490	1,2114	0,8040	Tolunay ve diğ. (2017)
	Toplam Dal	KGO (m^3/ha)	$y = ax + b$	0,3056	1,7950	0,9661	Tolunay ve diğ. (2017)
	İnce Kök	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,1492	0,4617	0,4421	Tolunay ve diğ. (2017)
	Kalın Kök	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,3139	0,7719	0,8919	Bu Çalışma
Sahil Çamı	KGO	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,955	0,8608	0,9245	Bu Çalışma
	İbre	KGO (m^3/ha)	$y = ax + b$	0,02	3,377	0,9147	Tolunay ve diğ. (2017)
	Toplam Dal	KGO (m^3/ha)	$y = ax + b$	0,0878	4,9364	0,9865	Tolunay ve diğ. (2017)
	İnce Kök	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,0886	0,5537	0,9406	Tolunay ve diğ. (2017)
	Kalın Kök	KGO (m^3/ha)	$y = ax^b$	0,5285	0,6457	0,9507	Bu Çalışma

KGO: Kabuklu gövde odunu.

Fıstık çamı ve sahil çamı meşcereleri üzerinde uygulanan 3. ve 4. simülasyonlarda kullanılmak üzere hesaplanmış büyüme çarpanları CBM-CFS3 ve FBDC modelleri için Tablo 4.13'de belirtilmiştir. Bu tablodaki ağaç türleri için ortalama çarpanlar Simülasyon 3'te, meşcere tipleri bazındaki çarpanlar ise Simülasyon 4'te kullanılmıştır.

Tablo 4.13: CBM-CFS3 ve FBDC modellerinde kullanılan büyüme çarpanları.

		CBM-CFS3	FBDC
Çfb	Ortalama	0,7996	0,5640
	Standart Hata	0,1593	0,1032
	Minimum	0,3833	0,2757
	Maksimum	1,4290	0,9682
Çfc	Ortalama	1,3526	0,9422
	Standart Hata	0,2096	0,1456
	Minimum	0,6345	0,4329
	Maksimum	1,9224	1,4040
Çfcd	Ortalama	1,0501	0,7085
	Standart Hata	0,0638	0,0434
	Minimum	0,9209	0,6186
	Maksimum	1,4044	0,9496
Çf Genel Ortalama	Ortalama	1,0675	0,7382
	Standart Hata	0,0995	0,0677
	Minimum	0,3833	0,2757
	Maksimum	1,9224	1,4040

		CBM-CFS3	FBDC
Çmb	Ortalama	1,9447	0,8977
	Standart Hata	0,1666	0,0785
	Minimum	1,3171	0,6020
	Maksimum	2,7741	1,2893
Çmc	Ortalama	1,7902	0,8307
	Standart Hata	0,1318	0,0608
	Minimum	1,2019	0,5573
	Maksimum	2,3943	1,1077
Çmcd	Ortalama	2,0212	0,9379
	Standart Hata	0,1834	0,0850
	Minimum	1,0185	0,4730
	Maksimum	2,6150	1,2132
Çm Genel Ortalama	Ortalama	1,9187	0,8888
	Standart Hata	0,0913	0,0425
	Minimum	1,0185	0,4730
	Maksimum	2,7741	1,2893

4.2.3. Dökülme Oranları

CBM-CFS3 ve FBDC modellerine girdi olarak tanıtılmak üzere fıstık ve sahil çamları için ortalama ibre ve dal döküm oranları hesaplanmıştır. İbre döküm oranları fıstık çamları için 0,34±0,01 ve sahil çamları için 0,39±0,02'dir. Dal döküm oranları ise sırasıyla 0,03±0,01 ve 0,11±0,04 olarak hesaplanmıştır.

4.2.4. Ayrışma Oranları

CBM-CFS3 modelinde gerçekleştirilen simülasyonlarda ayrışma işlemi çeşitli havuzlar altında gerçekleştirilmektedir. FBDC modelinde ise bu durum ağaç bileşeni bazında uygulanmaktadır. Dolayısıyla, FBDC modeli kullanılarak yapılan simülasyonlarda Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de yer verilen oranlar kullanılmıştır. CBM-CFS3 modelinin ölü organik madde havuzlarında yer alan ağaç bileşenlerinin ayrışma oranlarına ise Tablo 4.14'de yer verilmiştir.

Tablo 4.14: CBM-CFS3 modeline girdi olarak tanıtılan ayrışma oranları.

Ölü Organik Madde (ÖOM) Havuzu	*Varsayılan*	Fıstık Çamı	Sahil Çamı
Toprak Üstü ÖOM (Çok Hızlı Ayrışan)	0,36	0,42	0,44
Toprak Altı ÖOM (Çok Hızlı Ayrışan)	0,50	0,45	0,35
Toprak Üstü ÖOM (Hızlı Ayrışan)	0,14	0,23	0,20
Toprak Altı ÖOM (Hızlı Ayrışan)	0,14	0,28	0,22
Orta Hızda Ayrışan ÖOM	0,04	0,11	0,14
Toprak Üstü ÖOM (Yavaş Ayrışan)	0,02	0,11	0,11
Toprak Altı ÖOM (Yavaş Ayrışan)	0,003	0,003	0,003
Dikili Kurulara ait ÖOM	0,02	0,11	0,07
Düşen Dallara ait ÖOM	0,07	0,17	0,17

4.3. MODEL ÇIKTILARI

CBM-CFS3 ve FBDC modelleri toprak organik karbon stoklarını ve birikimlerini tahmin etmekte kullanılmaktadır. Ancak modeller ile toprak organik karbon stok ve birikimlerinin tahmin edilebilmesi için bitkisel kütle, ölü örtü ve ölü odunlardaki karbon miktarlarının da tahmin edilmesi gerekmektedir. Çünkü toprak organik karbonunun önemli bir kısmı ağaçlardan dökülen yaprak ve odunsu artıklar ile köklerden oluşmaktadır ve bu havuzlardaki karbon stokları ve birikimlerinin yüksek doğrulukla tahmini topraklardaki organik karbon miktarının belirlenmesindeki model başarısını arttırmaktadır. Bu nedenle CBM-CFS3 ve FBDC modelleri ile tahmin edilen TOK stoklarından önce modellerin çıktılarının alan gözlemleri ile karşılaştırıldığı (i) toplam bitkisel kütle, (ii) ölü örtü, (iii) ölü odun ve (iv) toprak karbon havuzları için yapılan tahminler verilmiştir. Ayrıca bütün bu havuzların toplamı da toplam ekosistem karbonu olarak değerlendirilmiştir. Karbon havuzlarındaki 50. yaşa kadar olan model tahminleri Ekler kısmında sunulmuştur (Ek 2-11).

4.3.1. Toplam Bitkisel Kütle Havuzundaki Organik Karbon Miktarları

Fıstık Çamı

Durusu kumul ağaçlandırma alanlarından elde edilen fıstık çamı meşcereleri toplam bitkisel kütledeki karbon (TBK) tahminleri Tablo 4.15'de gösterilmiştir. 4 simülasyon göz önünde bulundurulduğunda CBM-CFS3 modelinin bu havuzda düşük, FBDC modelinin ilk 2 simülasyonda yüksek tahminlerde bulunduğu görülmektedir (Tablo 4.15). Fıstık çamı meşcerelerinde 1. simülasyona ait TBK model çıktıları CBM-CFS3 modelinde 40,66-78,46 t C/ha arasında değişmektedir. Modelin fıstık çamı için genel ortalama tahmin miktarı 65,04 t C/ha, standart hatası ise 2,83 t C/ha olarak hesaplanmıştır.

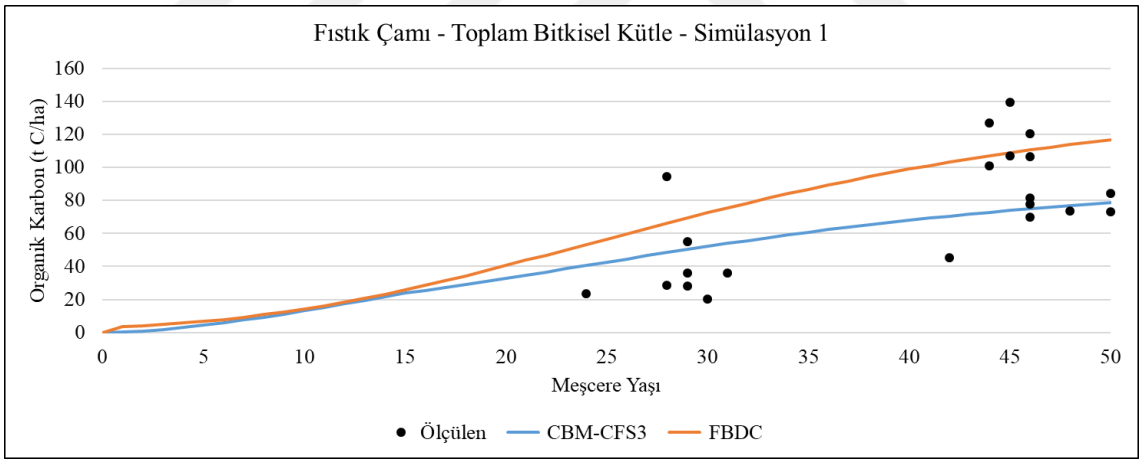
Fıstık çamı meşcerelerindeki toplam bitkisel kütle karbon tahminleri Simülasyon 1 için FBDC modelinde (CBM-CFS3'e göre) 15. yaştan itibaren daha yüksek miktarlardadır (Şekil 4.1).

Örnek alanlar bazında FBDC modeli TBK tahmin değerleri modellerin varsayılan girdilerinin kullanıldığı Simülasyon 1'e göre 53,37 t C/ha ile 116,70 t C/ha arasında değişmektedir. Modelin genel ortalama tahmin miktarı 94,13±4,75 t C/ha'dır (Tablo 4.15). Fıstık çamı örnek alanlarında CBM-CFS3 modeli alanda ölçülen TBK miktarından 7,72 t C/ha düşük, FBDC modeli ise 21,38 t C/ha daha fazla tahminde bulunmaktadır.

Tablo 4.15: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		TBK [Ölçülen]	TBK CBM-CFS3 [Sim 1]	TBK FBDC [Sim 1]	TBK CBM-CFS3 [Sim 2]	TBK FBDC [Sim 2]	TBK CBM-CFS3 [Sim 3]	TBK FBDC [Sim 3]	TBK CBM-CFS3 [Sim 4]	TBK FBDC [Sim 4]
Çfb	Ort.	49,20	55,48	78,09	56,18	79,16	49,19	49,20	44,92	44,65
	Std.Ht.	14,28	4,80	8,05	4,87	8,17	14,28	14,28	3,89	4,61
	Min.	20,24	40,66	53,37	41,14	54,08	20,23	20,24	32,90	30,50
	Mak.	106,87	73,81	108,85	74,78	110,37	106,87	106,86	59,79	62,25
Çfc	Ort.	88,15	63,50	91,52	64,32	92,79	88,16	88,15	87,01	87,42
	Std.Ht.	16,06	4,53	7,60	4,59	7,72	16,07	16,06	6,21	7,27
	Min.	36,12	48,43	66,23	49,02	67,12	36,11	36,12	66,32	63,24
	Mak.	139,47	74,83	110,58	75,82	112,13	139,50	139,48	102,57	105,65
Çfcd	Ort.	80,92	76,14	112,79	77,15	114,37	80,92	80,92	81,01	81,03
	Std.Ht.	4,65	0,65	1,10	0,66	1,12	4,66	4,65	0,70	0,79
	Min.	69,89	74,83	110,58	75,82	112,13	69,89	69,89	79,62	79,44
	Mak.	106,48	78,46	116,70	79,50	118,35	106,49	106,48	83,48	83,85
Çf Genel Ortalama	Ort.	72,76	65,04	94,13	65,88	95,44	72,76	72,76	70,98	71,03
	Std.Ht.	7,92	2,83	4,75	2,87	4,82	7,92	7,92	4,76	5,02
	Min.	20,24	40,66	53,37	41,14	54,08	20,23	20,24	32,90	30,50
	Mak.	139,47	78,46	116,70	79,50	118,35	139,50	139,48	102,57	105,65
	p		0,3754	0,0021	0,4979	0,0017	0,1443	1,0000	0,9308	0,9584
	Δ_{Tahmin}		-7,72	21,38	-6,87	22,68	0,00	0,00	-1,78	-1,72

TBK: Toplam Bitkisel Kütle, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

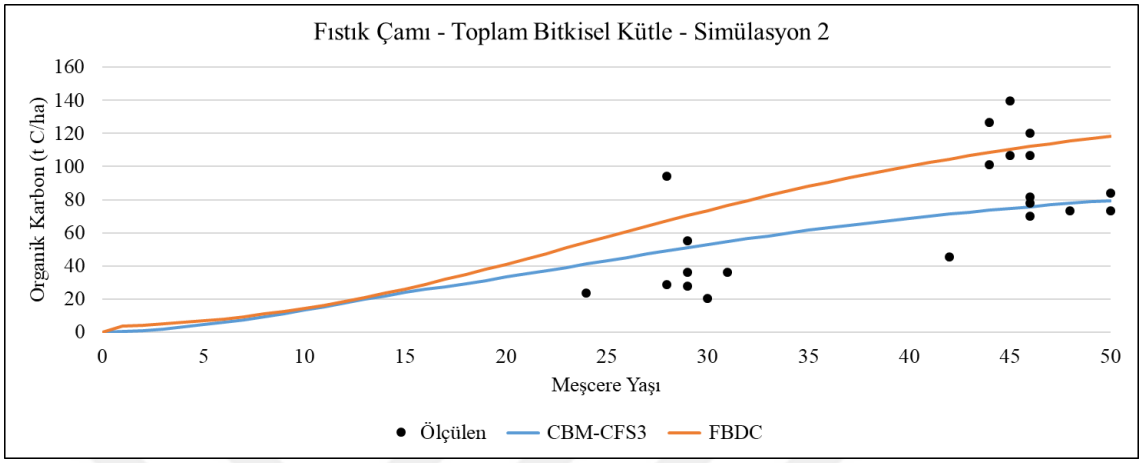


Şekil 4.1: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahada ölçülen TBK'daki karbon miktarları ile model çıktıları karşılaştırıldığında Simülasyon 1'de CBM-CFS3 model sonuçları ile ölçülen değerler arasında fark olmadığı (p=0,3754), FBDC model sonuçlarının daha yüksek (p=0,0021) tahmin yaptığı anlaşılmıştır (Tablo 4.15).

Şekil 4.2'de fıstık çamı örnek alanlarındaki 2. simülasyon sonuçları sunulmuştur. Simülasyon 1'e benzer şekilde, FBDC modeli daha yüksek TBK tahminleri ile dikkat çekmektedir. CBM-CFS3 ve FBDC modellerine ait genel ortalama tahmin değerleri sırasıyla 65,88 t C/ha ve 95,44

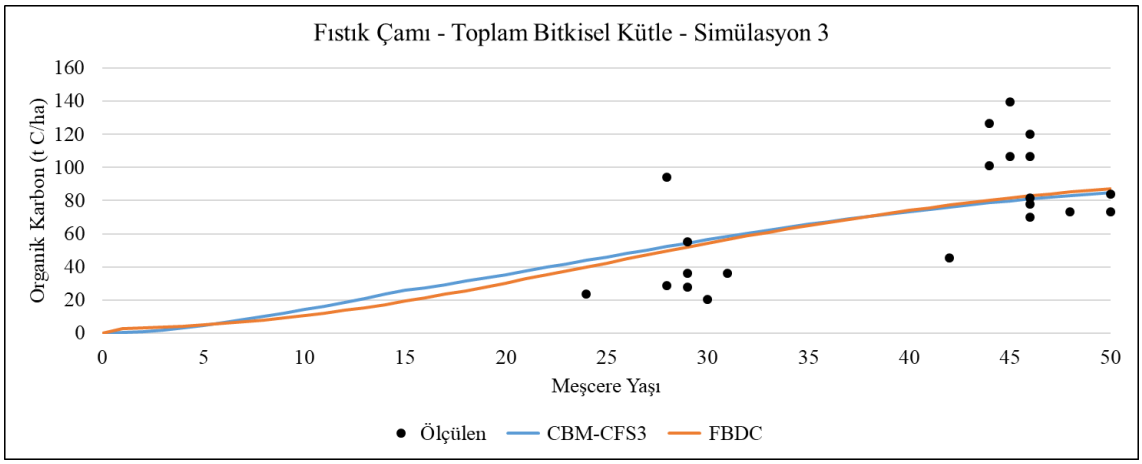
t C/ha, standart hata değerleri 2,87 t C/ha ile 4,82 t C/ha'dır. Örnek alanlarda 20,24-139,47 t C/ha olarak belirlenen TBK'deki karbon stokları CBM-CFS3 modeli ile 41,14-79,5 t C/ha, FBDC modeli ile 54,08-118,35 t C/ha arasında belirlenmiştir (Tablo 4.15).



Şekil 4.2: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

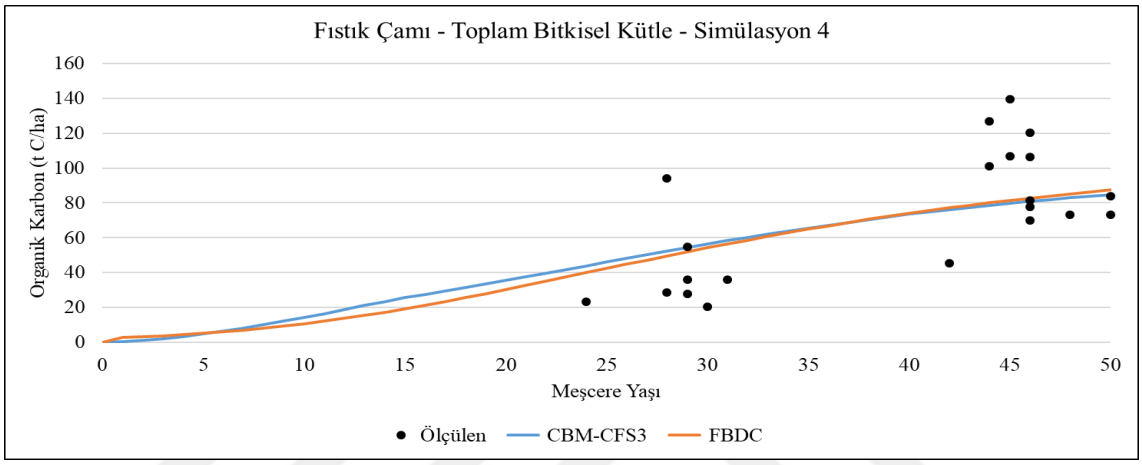
Durusu kumul ağaçlandırma alanları fıstık çamı meşcerelerinde uygulanan 2. simülasyonda TBK tahminleri FBDC modelinde istatistiksel açıdan önemli düzeyde yüksek (p=0,0017), CBM-CFS3 modelinde ise ölçülen değerler benzer (p=0,4979) değerler vermektedir. FBDC modelinin fazladan tahmin ettiği TBK 22,68 t C/ha olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.15).

Simülasyon 3 sonucunda elde edilen fıstık çamı meşcerelerindeki TBK tahminleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Simülasyonda meşcere bazlı büyüme çarpanı kullanılması sebebi ile TBK tahmin değerleri ve alan ölçümleri benzerdir (Tablo 4.15).



Şekil 4.3: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Şekil 4.4'de yer verilen ve meşcere gelişim çağı bazlı büyüme çarpanlarının kullanıldığı Simülasyon 4'te ise ortalama tahmin değerleri 70,98 t C/ha (CBM-CFS3) ve 71,03 t C/ha (FBDC) olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.15). İki modelin tür bazlı genel ortalama TBK tahmin miktarları alan ölçümlerinden daha düşüktür. Fıstık çamlarındaki TBK havuzunu CBM-CFS3 modeli 1,78 t C/ha, FBDC modeli ise 7,57 t C/ha düşük tahmin etmektedir. CBM-CFS3 ve FBDC modellerine ait TBK tahminleri, alan ölçümleri ile istatistiksel açıdan benzerdir ($p_{\text{CBM-CFS3}}$ =0,9308, p_{FBDC}=0,9584) (Tablo 4.15).



Şekil 4.4: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahil Çamı

CBM-CFS3 ve FBDC modellerine ait sahil çamı meşcereleri TBK tahminleri Tablo 4.16'de gösterilmiştir. İlk 2 simülasyonda TBK havuzunda CBM-CFS3 modelinin düşük, FBDC modelinin yüksek tahminlerde bulunduğu görülmektedir (Tablo 4.16).

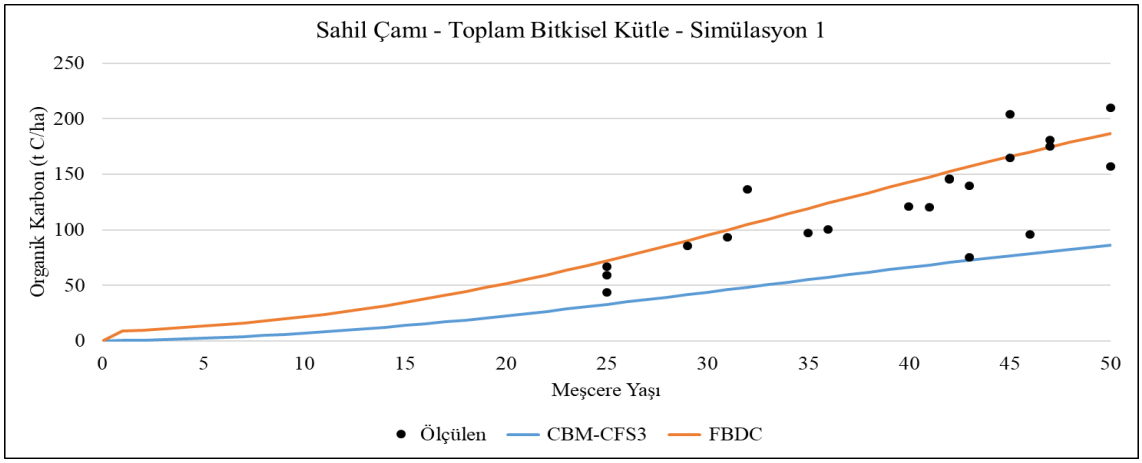
Sahil çamı meşcerelerinde örnek alanların 43,98 t C/ha ile 209,79 t C/ha arasında değişen toplam bitkisel kütledeki karbon miktarları 1. simülasyonda CBM-CFS3 modeli ile 32,89 t C/ha ile 86,24 t C/ha tahmin edilmiştir. CBM-CFS3 modelinin sahil çamı meşcerelerinde TBK'daki ortalama karbon miktarı tahmini 63,56 t C/ha olup, 124,66 t C/ha olarak ölçülen TBK karbon stoklarından düşüktür. Buna karşılık FBDC modeli ile örnek alanlar için tahmin edilen TBK karbon stoklarının ortalaması 137,5 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Bu modelin örnek alanlardaki tahmin ettiği en düşük ve en yüksek değerler 72,15 ile 186,92 t C/ha arasındadır (Tablo 4.16).

Tablo 4.16: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		TBK [Ölçülen]	TBK CBM-CFS3 [Sim 1]	TBK FBDC [Sim 1]	TBK CBM-CFS3 [Sim 2]	TBK FBDC [Sim 2]	TBK CBM-CFS3 [Sim 3]	TBK FBDC [Sim 3]	TBK CBM-CFS3 [Sim 4]	TBK FBDC [Sim 4]
Çmb	Ort.	83,28	41,47	90,03	42,12	91,18	83,30	83,28	81,92	81,85
	Std.Ht.	11,48	3,39	7,09	3,45	7,18	11,49	11,48	6,70	6,45
	Min.	43,98	32,89	72,15	33,39	73,05	43,99	43,98	64,95	65,58
	Mak.	136,57	55,26	119,05	56,13	120,59	136,62	136,57	109,17	108,25
Çmc	Ort.	134,93	73,73	159,33	74,90	161,43	134,95	134,93	134,10	134,10
	Std.Ht.	14,79	4,04	8,87	4,11	9,00	14,79	14,79	7,35	7,47
	Min.	96,10	57,50	123,88	58,41	125,48	96,10	96,09	104,58	104,24
	Mak.	209,79	86,24	186,92	87,62	189,39	209,82	209,79	156,87	157,33
Çmcd	Ort.	155,77	75,50	163,14	76,70	165,28	155,80	155,77	155,05	155,02
	Std.Ht.	15,48	1,64	3,61	1,67	3,66	15,48	15,48	3,37	3,43
	Min.	75,17	70,56	152,27	71,68	154,27	75,17	75,16	144,91	144,69
	Mak.	203,81	80,64	174,49	81,93	176,79	203,85	203,80	165,62	165,81
Çm Genel Ortalama	Ort.	124,66	63,56	137,50	64,57	139,30	124,68	124,66	123,69	123,66
	Std.Ht.	10,27	3,91	8,41	3,97	8,52	10,27	10,27	7,64	7,63
	Min.	43,98	32,89	72,15	33,39	73,05	43,99	43,98	64,95	65,58
	Mak.	209,79	86,24	186,92	87,62	189,39	209,82	209,79	165,62	165,81
	p		0,0001	0,0386	0,0001	0,0228	0,0001	0,3875	0,5430	0,5430
	Δ_{Tahmin}		-61,09	12,84	-60,09	14,64	0,02	0,00	-0,97	-1,00

TBK: Toplam Bitkisel Kütle, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

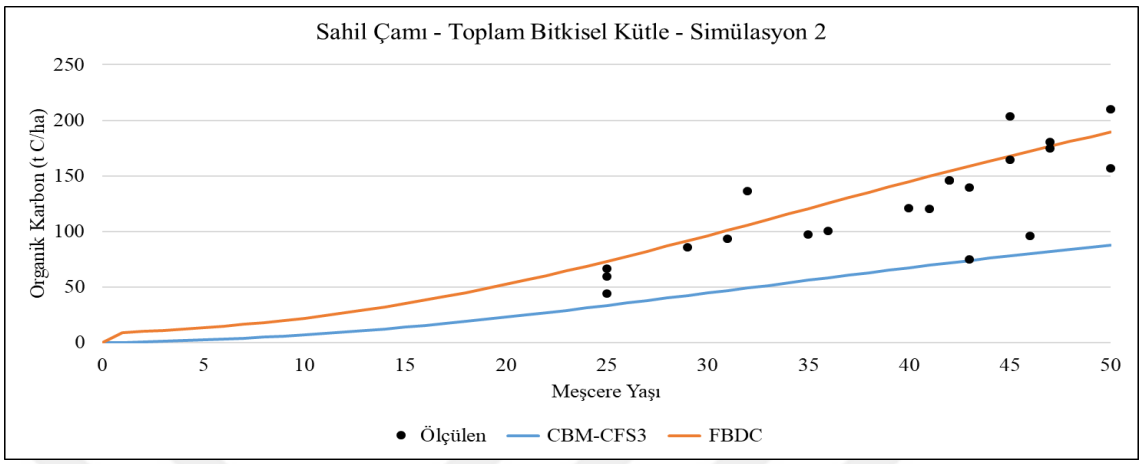
Tablo 4.16 ve Şekil 4.5'de görüldüğü üzere ile Simülasyon 1 ile FBDC modelinin TBK karbon stokları tahmin değerleri CBM-CFS3 modelinden ve alan ölçümlerinden fazladır. Buna karşılık CBM-CFS3 modelinin tahminleri düşüktür ve bu sonuç istatistik açıdan da önemlidir (Tablo 4.16).



Şekil 4.5: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Toplam bitkisel kütle havuzuna ait 2. simülasyondan elde edilen model tahminleri ve alan ölçümlerine Şekil 4.6'da yer verilmiştir. Simülasyon 2 sonuçları 33,39 ile 87,62 t C/ha arasında

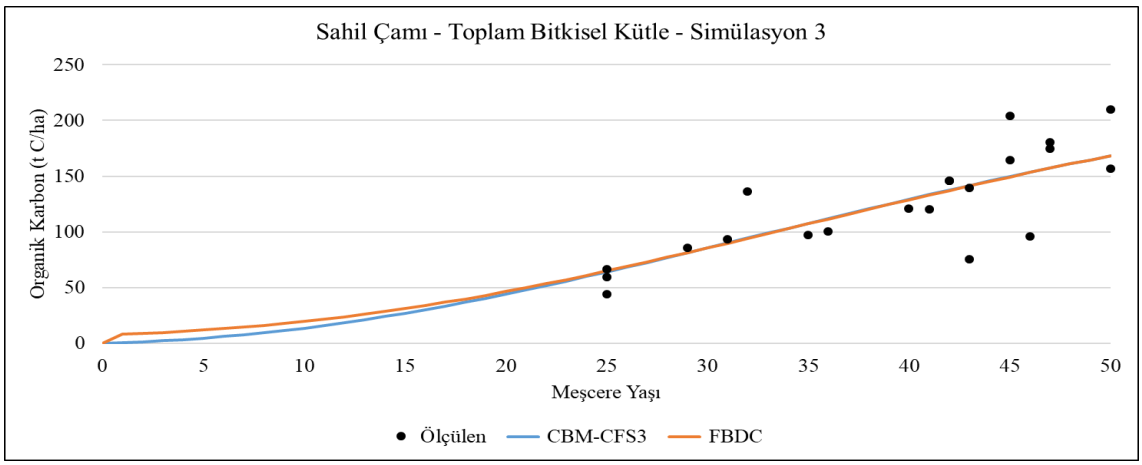
değişen CBM-CFS3 model tahminlerinin sahil çamı genel meşcere ortalaması 64,57 t C/ha değerine sahiptir. Tahminlerin standart hatası 3,97 t C/ha'dır (Tablo 4.16).



Şekil 4.6: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

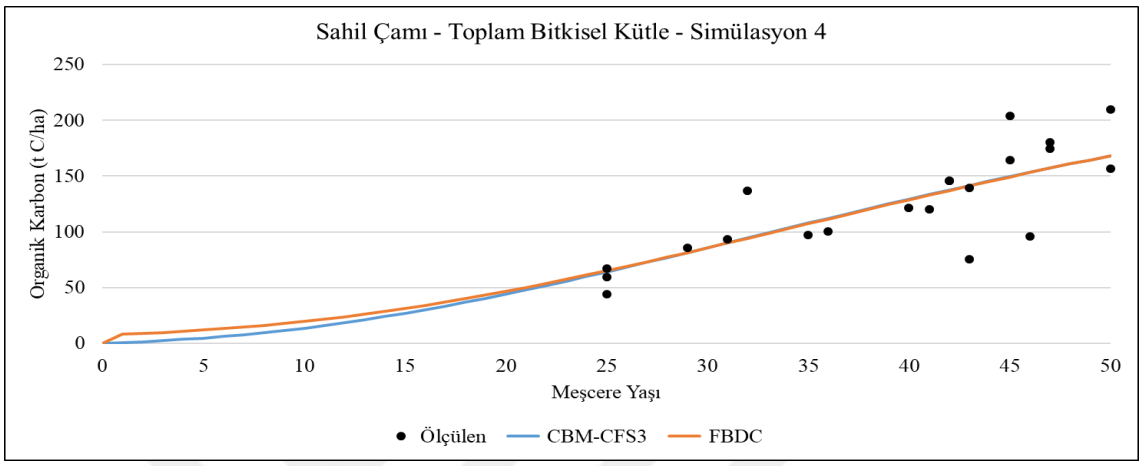
Şekil 4.6'da görüldüğü üzere sahil çamı meşcerelerinin 2. simülasyonundaki CBM-CFS3 model tahminleri FBDC modeline göre daha düşüktür. Bu simülasyonda FBDC modelinin genel meşcere tahmin ortalaması 139,3 t C/ha, standart hatası 8,52 t C/ha olarak belirlenmiştir. Modelin tahmin değerleri ilk simülasyona yakın bir şekilde, 73,05 ile 189,39 t C/ha arasında değişmektedir. CBM-CFS3 modeli için *p* değerleri 0,0001'den düşük ve FBDC modeli için 0,0228 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Simülasyon 2'nin model tahminleri ve alan ölçümleri arasında istatistiki açıdan önemli farklar olduğu söylenebilmektedir.

Simülasyon 3'e göre her iki modelin yaşlara göre TBK karbon miktarları tahmini 25. yıldan itibaren birbiri ile benzerdir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahil çamı tüm örnek alanları için belirlenen tek bir büyüme çarpanının ardından bu defa meşcere gelişim çağlarına göre büyüme çarpanlarının kullanıldığı Simülasyon 4'e ait model tahminleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Toplam bitkisel kütle tahminleri Simülasyon 3 ile oldukça yakın değerler içermektedir.



Şekil 4.8: Sahil çamı örnek alanlarının toplam bitkisel kütle havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahil çamı örnek alanlarında CBM-CFS3 modeli ile tahmin edilen TBK karbon stoklarının ortalaması 123,69 t C/ha'dır. Bu ortalama değer FBDC modeli ile 123,66 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Modellerin standart hata miktarı sırasıyla 7,64 t C/ha ve 7,63 t C/ha'dır. TBK alan ölçümlerinin 43,98 ile 209,79 t C/ha arasında olduğu sahil çamı meşcerelerinde CBM-CFS3 modeli 64,95 ile 165,62 t C/ha, FBDC modeli ise 65,58 ile 165,81 t C/ha arasında tahminlerde bulunmaktadır. Simülasyon 4'de TBK tahminlerine bakıldığında CBM-CFS3 modeli 0,97 t C/ha, FBDC modeli de 1,00 t C/ha'lık daha düşük tahminler ile sonuç vermektedir. Model tahminleri ile alan ölçümleri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan önemsiz sonuç olduğu için tahminlerin ölçülenlerle benzer olduğu değerlendirilmektedir ($p_{CBM-CFS3}$=0,5430, p_{FBDC}=0,5430) (Tablo 4.16).

4.3.2. Ölü Örtü Havuzundaki Organik Karbon Miktarları

Fıstık Çamı

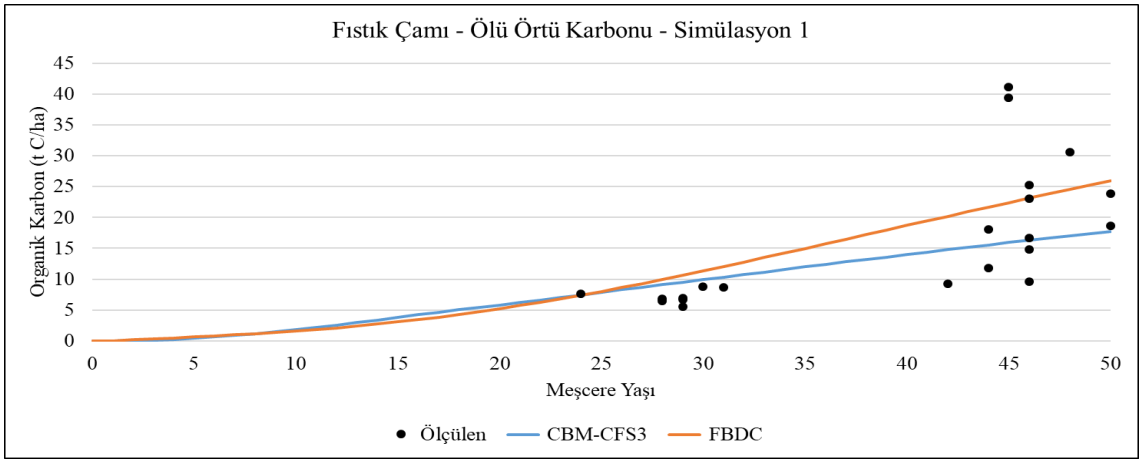
Fıstık çamı meşcerelerinde gerçekleştirilen örneklemelere göre ölü örtüdeki ortalama karbon miktarı 16,19 t C/ha, ölçümlerin standart hatası ise 2,36 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Ölçüm uç değerleri arasında (5,58-41,12 t C/ha) oldukça yüksek bir fark bulunmaktadır (Tablo 4.17).

Tablo 4.17: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		ÖÖ [Ölçülen]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 1]	ÖÖ FBDC [Sim 1]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 2]	ÖÖ FBDC [Sim 2]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 3]	ÖÖ FBDC [Sim 3]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 4]	ÖÖ FBDC [Sim 4]
Çfb	Ort.	12,60	11,00	13,45	4,14	11,81	3,59	7,69	3,40	6,66
	Std.Ht.	4,52	1,26	2,27	0,31	1,80	0,92	2,60	0,25	1,02
	Min.	6,70	7,46	7,43	3,21	6,92	1,66	2,81	2,62	3,90
	Mak.	39,43	15,94	22,39	5,32	18,89	7,29	18,29	4,38	10,66
Çfc	Ort.	16,04	13,08	17,16	4,65	14,76	6,11	14,13	6,07	13,91
	Std.Ht.	4,84	1,23	2,25	0,29	1,78	1,00	2,95	0,38	1,67
	Min.	5,58	9,11	9,98	3,69	9,06	2,81	5,09	4,81	8,54
	Mak.	41,12	16,31	23,11	5,39	19,44	9,30	23,88	7,03	18,32
Çfcd	Ort.	19,93	16,84	24,11	5,47	20,19	5,71	14,27	5,71	14,31
	Std.Ht.	2,68	0,26	0,50	0,04	0,38	0,29	0,79	0,05	0,27
	Min.	9,63	16,31	23,11	5,39	19,44	5,02	12,12	5,62	13,77
	Mak.	30,61	17,78	25,90	5,63	21,54	7,27	18,46	5,88	15,26
Çf Genel Ortalama	Ort.	16,19	13,64	18,24	4,76	15,59	5,14	12,03	5,06	11,63
	Std.Ht.	2,36	0,78	1,42	0,18	1,12	0,50	1,44	0,30	1,00
	Min.	5,58	7,46	7,43	3,21	6,92	1,66	2,81	2,62	3,90
	Mak.	41,12	17,78	25,90	5,63	21,54	9,30	23,88	7,03	18,32
	p		0,7677	0,0537	0,0001	0,4761	0,0001	0,0218	0,0001	0,0340
	Δ_{Tahmin}		-2,55	2,05	-11,43	-0,60	-11,05	-4,16	-11,13	-4,57

ÖÖ: Ölü Örtü, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

Fıstık çamı örnek alanlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen ölü örtü havuzu organik karbon miktarlarının yıllık değişimi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

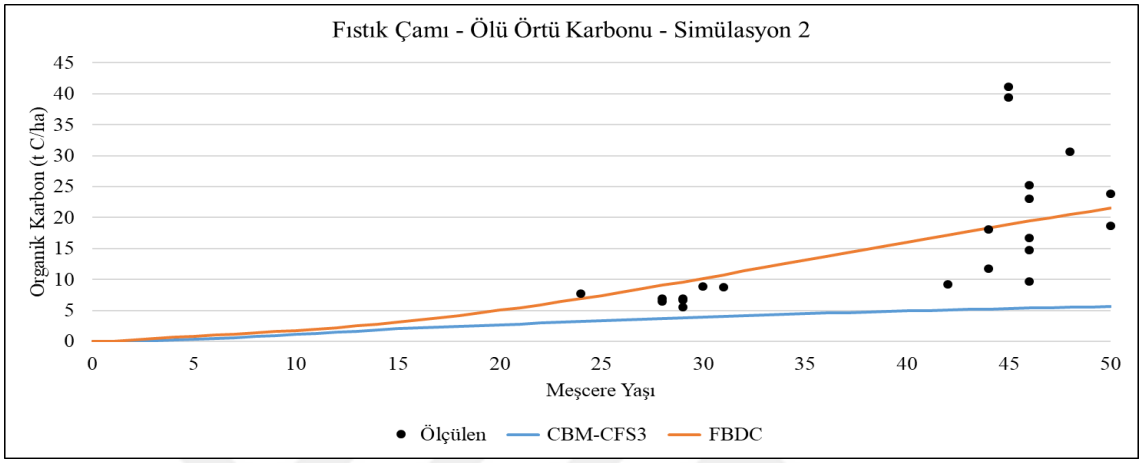


Şekil 4.9: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 1'e göre yaklaşık olarak 25. yıldan sonra model çıktıları farklı eğilimlerle ilerlemekte olup, ölü örtü karbon stoklarını CBM-CFS3 düşük, FBDC ise yüksek tahmin etmektedir (Şekil 4.9). Bütün örnek alanların ortalaması olarak ölü örtü karbon stokları CBM-CFS3 modelinde 13,64±0,78 t C/ha, FBDC modelinde 18,24±1,42 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Modellerin en düşük tahminleri birbirine yakın (7,46-7,43 t C/ha) olup, en yüksek tahmin

miktarları ise farklıdır (17,78-25,90 t C/ha). Her iki model de istatistiksel açıdan önemsiz sonuçlar ile tahminlerde bulunmaktadır ($p_{CBM-CFS3}$=0,7677, p_{FBDC}=0,0537) (Tablo 4.17).

CBM-CFS3 ve FBDC modeli kullanılarak Simülasyon 2 ile tahmin edilen yıllık fıstık çamı ölü örtü organik karbon miktarları Şekil 4.10'da verilmiştir.

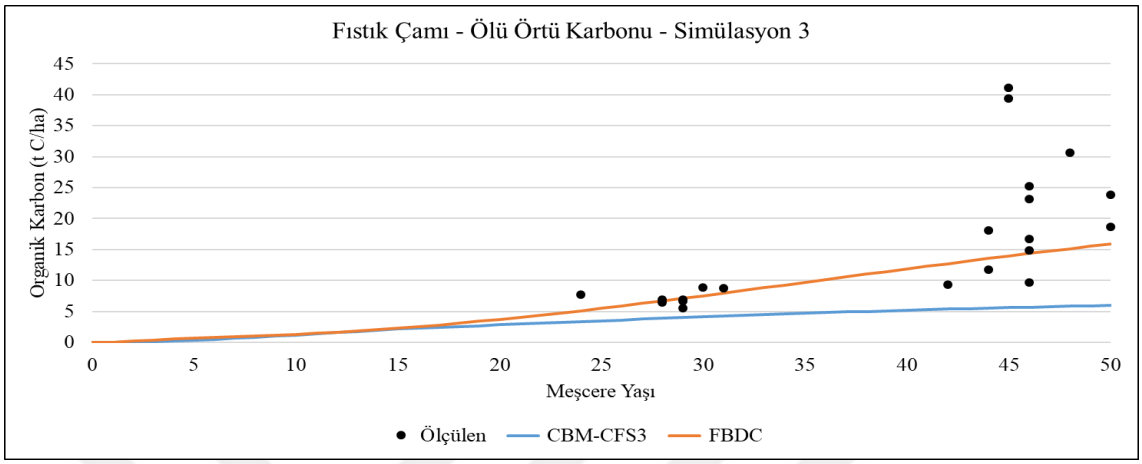


Şekil 4.10: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Durusu meşcerelerine özgü katsayılar ile gerçekleştirilen 2. simülasyonda CBM-CFS3 modelinin denge aşamasına 40'lı yaşlarda ulaştığı gözlemlenirken FBDC modelinin diğer modele göre yüksek tahminlerde bulunduğu anlaşılmaktadır. CBM-CFS3 modelinin ortalama tahmini 4,76 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Minimum ve maksimum tahminler 3,21 ile 5,63 t C/ha arasındadır. Daha yüksek tahminlere sahip FBDC modelinde bu miktarlar 6,92 ile 21,54 t C/ha aralığındadır. FBDC modelinin ölü örtü havuzundaki organik karbon tahmin miktarı 15,59±1,12 t C/ha olarak belirlenmiştir. Fıstık çamı örnek alanlarındaki ölü örtü karbon miktarlarını tahmin için gerçekleştirilen 2. simülasyonda CBM-CFS3 modeli istatistiksel açıdan önemli (p<0,0001) düzeyde düşük tahminde bulunmuştur. Buna karşılık FBDC modelinin tahminleri ile ölçülen değerler arasında istatisksel açıdan önemli (p=0,4761) fark bulunamamıştır (Tablo 4.17).

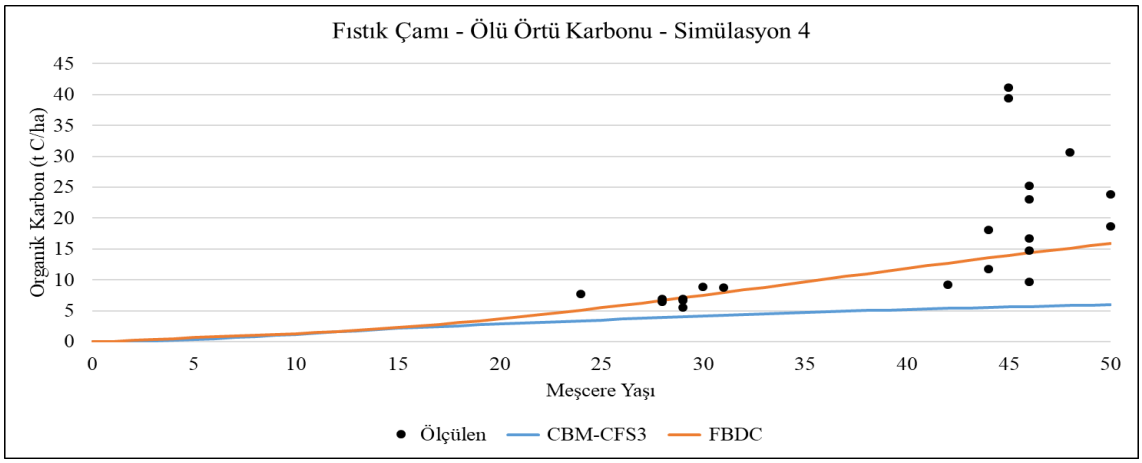
Büyüme çarpanlarının kullanıldığı Simülasyon 3 sonuçlarına göre CBM-CFS3 modeli ölü örtüdeki karbon miktarlarını ortalama 5,14±0,5 t C/ha olarak tahmin etmiştir. Modelin tahmin değerleri 1,66 ile 9,3 t C/ha arasında değişmektedir. Saha ölçümlerinden 11,05 t C/ha düşük tahminlerde bulunan modelin çıktıları ile ölçülen değerler arasındaki bu fark istatistiksel açıdan önemlidir (p<0,0001). 3. simülasyon sonucunda FBDC modeli ortalama olarak 12,03 t C/ha'lık bir ölü örtü organik karbon tahmininde bulunmaktadır. Tahminin standart hatası 1,44 t C/ha

olarak hesaplanmıştır. CBM-CFS3 modeline benzer şekilde, FBDC modelinin tahminleri de istatistiksel açıdan önemli (p=0,0218) düzeyde ölçülen değerlerden düşüktür (Tablo 4.17 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Her iki model ile Simülasyon 4 sonucunda yıllara göre tahmin edilen ölü örtü karbon stokları Şekil 4.12'de verilmiştir. CBM-CFS3 modeliyle gözlemlenen tüm örnek alanların ortalama ölü örtü karbon miktarları 5,06 t C/ha, standart hatası ise 0,30 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Tahmin değerleri 2,62 ile 7,03 t C/ha arasındadır. 4. simülasyonda FBDC modeli ile belirlenen ortalama ölü örtü karbon miktarı 11,63 t C/ha'dır. Örnek alanlarda ölü örtülerdeki en düşük ve en yüksek karbon miktarı 3,9 ile 18,32 t C/ha arasında değişmektedir. Her iki modelin tahminleri de istatistiksel olarak önemsizdir ($p_{\text{CBM-CFS3}} < 0{,}0001$, p_{FBDC}=0,0340) (Tablo 4.17).



Şekil 4.12: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

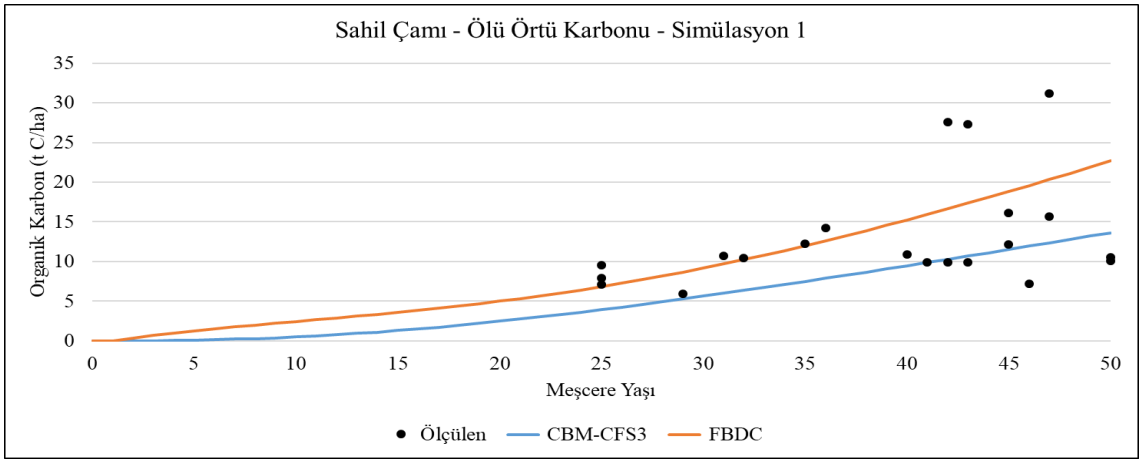
Sahil Çamı

Sahil çamı örnek alanlarındaki ölü örtü havuzuna ait ortalama organik karbon miktarı 13,17±1,53 t C/ha'dır. örnek alanlarda ölçülen ölü örtü karbon miktarları 5,92 ile 31,14 t C/ha arasında değişmektedir. En düşük miktara *b* meşcerelerinde, en yüksek miktara ise *cd* meşcerelerinde rastlanmıştır (Tablo 4.18). Buna karşılık Simüasyon 1'e göre bu ölü örtüdeki karbon miktarları CBM-CFS3 modeli ile 9,20 t C/ha, FBDC modeli ile 15,05 t C/ha olarak tahmin edilmiştir. Şekil 4.12'den de görüleceği üzere FBDC modeli ölü örtüdeki karbon miktarlarını CBM-CFS3 modeline göre sürekli daha fazla tahmin etmektedir. CBM-CFS3 modelinin tahminleri istatistiksel açıdan önemli derece düşüktür ($p_{\text{CBM-CFS3}}$=0,0072). Buna karşılık FBDC modelinin taminleri ile ölçülen değerler arasındaki farklar istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (p_{FBDC}=0,2172) (Tablo 4.18).

Tablo 4.18: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

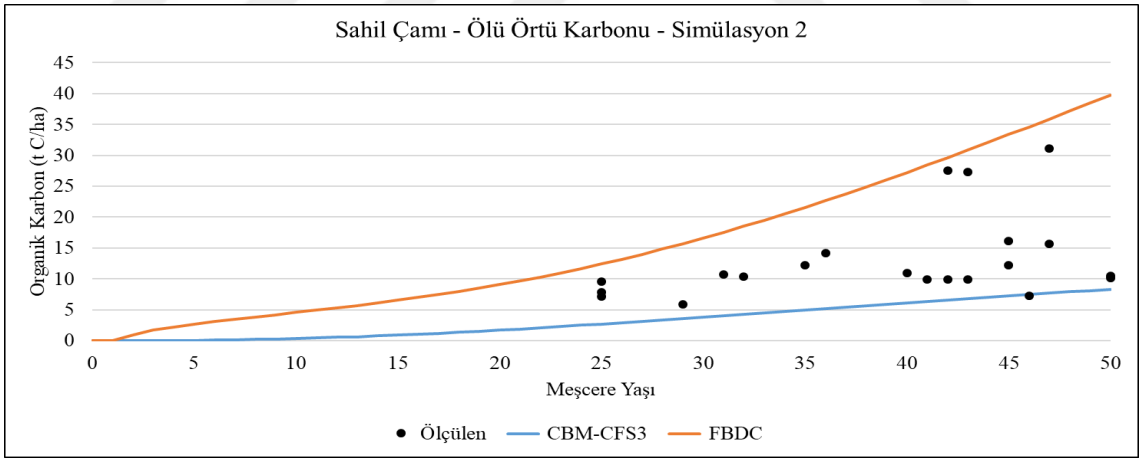
		ÖÖ [Ölçülen]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 1]	ÖÖ FBDC [Sim 1]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 2]	ÖÖ FBDC [Sim 2]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 3]	ÖÖ FBDC [Sim 3]	ÖÖ CBM-CFS3 [Sim 4]	ÖÖ FBDC [Sim 4]
Çmb	Ort.	9,12	5,28	8,72	3,56	15,80	6,63	14,44	6,51	14,18
	Std.Ht.	0,85	0,53	0,76	0,34	1,37	0,95	2,06	0,63	1,23
	Min.	5,92	3,95	6,84	2,70	12,42	3,47	7,47	4,93	11,15
	Mak.	12,26	7,49	11,98	4,96	21,60	10,85	23,87	9,10	19,39
Çmc	Ort.	10,39	11,02	18,01	6,94	31,90	12,03	26,74	11,92	26,50
	Std.Ht.	0,78	0,82	1,45	0,44	2,44	1,40	3,43	0,79	2,03
	Min.	7,22	7,88	12,60	5,19	22,68	8,52	18,18	8,83	18,84
	Mak.	14,19	13,62	22,67	8,33	39,73	19,09	44,01	14,39	33,00
Çmcd	Ort.	20,00	11,29	18,43	7,12	32,67	13,82	30,84	13,73	30,64
	Std.Ht.	3,21	0,34	0,60	0,18	1,01	1,35	3,20	0,36	0,95
	Min.	9,87	10,28	16,64	6,58	29,65	6,92	14,60	12,64	27,81
	Mak.	31,14	12,36	20,35	7,69	35,89	17,96	40,47	14,88	33,66
Çm Genel Ortalama	Ort.	13,17	9,20	15,05	5,88	26,79	10,83	24,01	10,72	23,77
	Std.Ht.	1,53	0,70	1,14	0,41	1,98	0,97	2,25	0,76	1,76
	Min.	5,92	3,95	6,84	2,70	12,42	3,47	7,47	4,93	11,15
	Mak.	31,14	13,62	22,67	8,33	39,73	19,09	44,01	14,88	33,66
	p		0,0072	0,2172	0,0001	0,0001	0,2891	0,0004	0,1492	0,0001
	Δ_{Tahmin}		-3,97	1,88	-7,29	13,62	-2,34	10,84	-2,45	10,60

ÖÖ: Ölü Örtü, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.



Şekil 4.13: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

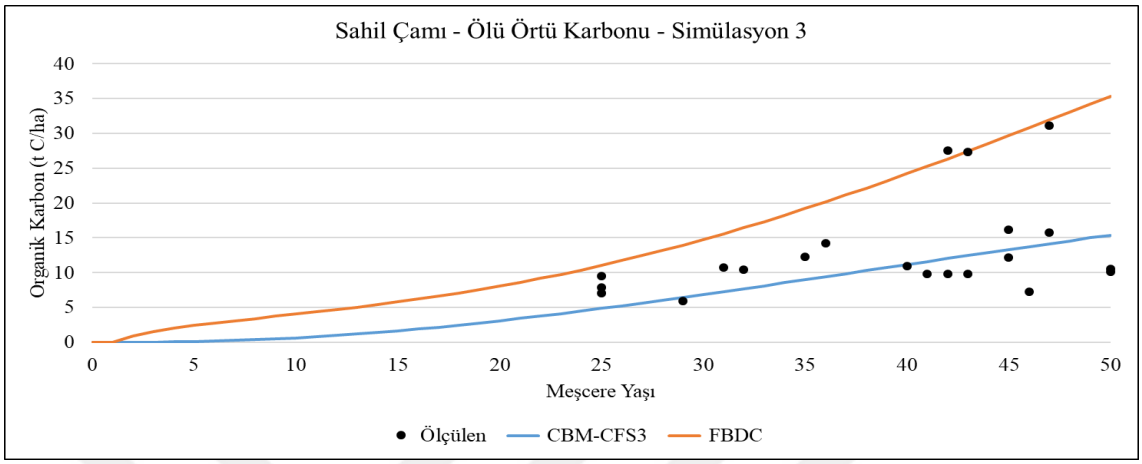
Simülasyon 2 sonuçlarına göre CBM-CFS3 modeli sahil çamı meşcerelerindeki ortalama ölü örtü karbon stoklarını düşük (5,88 t C/ha), FBDC modeli ise yüksek (26,79 t C/ha) tahmin etmektedir (Tablo 4.18; Şekil 4.14). İki model arasında 20 t C/ha'dan fazla tahmin farkı bulunmaktadır. Model çıktıları istatistik açıdan değerlendirildiğinde CBM-CFS3 modelinin tahminlerinin önemli ölçüde düşük, FBDC modelinin ise yine önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.18).



Şekil 4.14: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 3 sonuçlarına göre CBM-CFS3 ölü örtülerdeki ortalama karbon miktarı tahmini 10,83 t C/ha'dır. Tahminlerin standart hatası 0,97 t C/ha, minimum ve maksimum değerleri ise 3,47 t C/ha ile 19,09 t C/ha olarak bulunmuştur. 3. simülasyon dâhilinde sahil çamlarında bu model alan ölçümlerinden yaklaşık 2,5 t C/ha kadar düşük bir tahmin ortalaması ile çalışmaktadır. FBDC modelinin ortalama tahmin miktarı 24,01±2,25 t C/ha olarak hesaplanmıştır. CBM-CFS3 modelinin aksine FBDC modeli bu simülasyonda yaklaşık olarak

ortalama 11 t C/ha kadar yüksek bir tahmin miktarında sonuçlar vermektedir. CBM-CFS3 modelinin tahminleri ölçülen değerlerle benzerken (p=0,2891), FBDC modeli tahminleri istatistiksel açıdan önemli düzeyde yüksektir (p=0,0004) (Tablo 4.18; Şekil 4.15).



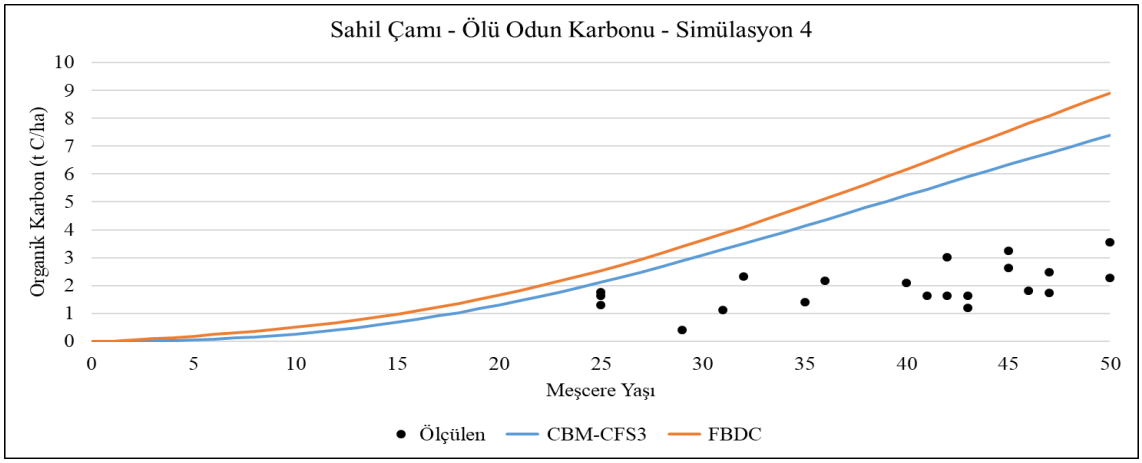
Şekil 4.15: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 4 sonuçlarına göre CBM-CFS3 modelinin sahil çamı örnek alanları için ortalama ölü örtü karbon miktarı tahmin değeri 10,72±0,76 t C/ha'dır. Model ile belirlenen örnek alanlardaki en yüksek ve en düşük ölü örtü karbon miktarları 4,93 ile 14,88 t C/ha aralığındadır. Saha ölçümlerine benzer şekilde modelde minimum tahmin değerine *b*, maksimum tahmin değerine ise *cd* meşceresinde ulaşılmıştır. FBDC modelinin ortalama tahmin değeri 23,77±1,76 t C/ha'dır. Minimum ve maksimum ölü örtü karbon miktarı tahmini 11,15 ile 33,66 t C/ha arasında değişmektedir. CBM-CFS3 modeli tahminleri ölçülen ölü örtü karbon stokları ile benzerken ($p_{\text{CBM-CFS3}}$=0,1492), FBDC modeli ise önemli ölçüde yüksektir (p_{FBDC}<0,0001) (Tablo 4.18; Şekil 4.16).

4.3.3. Ölü Odun Havuzundaki Organik Karbon

Fıstık Çamı

Fıstık çamı meşcerelerinde ölçülen ölü odun karbon miktarları 0,12 t C/ha ile 17,12 t C/ha arasında değişmekte olup, örnek alanların ortalaması 4,28 t C/ha'dır (Tablo 4.19). CBM-CFS3 modeli ile ölü odun karbon stokları simalasyonlara göre sırasıyla 4,90 t C/ha, 1,66 t C/ha, 1,86 t C/ha ve 1,79 t C/ha olarak tahmin edilmiştir. FBDC modelinde yine sırasıyla bu değerler 5,66 t C/ha, 2,92 t C/ha, 2,25 t C/ha ve 2,00 t C/ha olarak hesaplanmıştır.



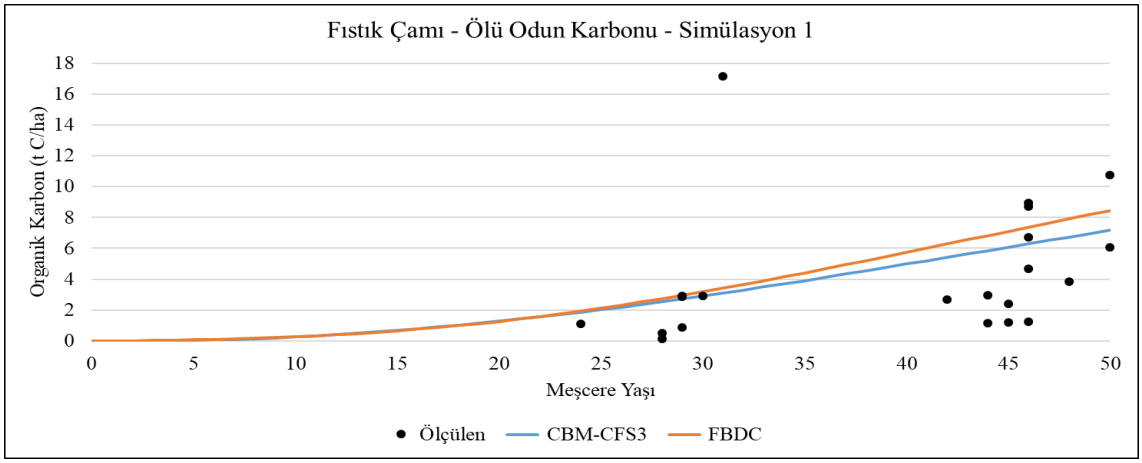
Şekil 4.16: Sahil çamı örnek alanlarının ölü örtü havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Tablo 4.19: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		ÖOD [Ölçülen]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 1]	ÖOD FBDC [Sim 1]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 2]	ÖOD FBDC [Sim 2]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 3]	ÖOD FBDC [Sim 3]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 4]	ÖOD FBDC [Sim 4]
Çfb	Ort.	1,93	3,53	3,96	1,31	2,24	1,20	1,45	1,05	1,27
	Std.Ht.	0,42	0,64	0,79	0,17	0,33	0,40	0,48	0,13	0,19
	Min.	0,12	1,86	1,94	0,83	1,31	0,44	0,54	0,66	0,74
	Mak.	2,91	6,08	7,10	1,97	3,53	2,83	3,42	1,57	1,99
Çfc	Ort.	3,79	4,57	5,25	1,59	2,79	2,21	2,67	2,17	2,63
	Std.Ht.	2,25	0,64	0,79	0,16	0,32	0,45	0,55	0,22	0,30
	Min.	0,49	2,54	2,74	1,06	1,74	0,81	0,98	1,45	1,64
	Mak.	17,12	6,30	7,38	2,01	3,62	3,70	4,47	2,73	3,41
Çfcd	Ort.	7,11	6,61	7,76	2,06	3,73	2,16	2,64	2,17	2,65
	Std.Ht.	0,94	0,16	0,19	0,03	0,06	0,12	0,15	0,03	0,04
	Min.	3,86	6,30	7,38	2,01	3,62	1,85	2,26	2,11	2,57
	Mak.	10,77	7,17	8,45	2,16	3,94	2,84	3,44	2,27	2,79
Çf Genel Ortalama	Ort.	4,28	4,90	5,66	1,66	2,92	1,86	2,25	1,79	2,18
	Std.Ht.	0,92	0,41	0,50	0,10	0,20	0,22	0,27	0,14	0,18
	Min.	0,12	1,86	1,94	0,83	1,31	0,44	0,54	0,66	0,74
	Mak.	17,12	7,17	8,45	2,16	3,94	3,70	4,47	2,73	3,41
	p		0,1005	0,0129	0,0037	0,4342	0,0190	0,0654	0,0096	0,0516
	Δ_{Tahmin}		0,63	1,38	-2,62	-1,35	-2,42	-2,02	-2,48	-2,10

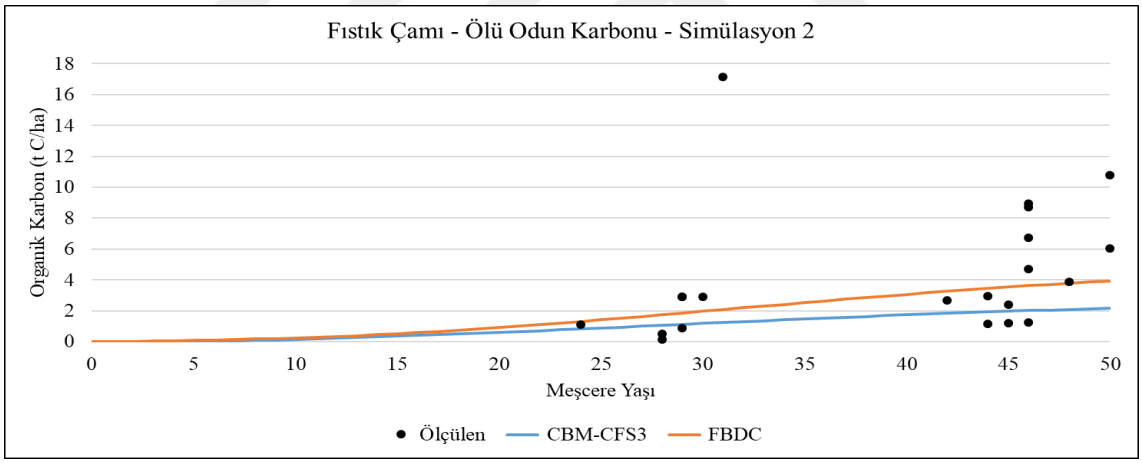
ÖOD: Ölü Odun, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

Ölçülen ve tahmin edilen ölü odun karbon stokları arasında istatistiksel açıdan fark olup olmadığı incelendiğinde Simülasyon 1'de CBM-CFS3 modelinin tahmin değerleri ile ölçülen değerler arasındaki farkın önemsiz olduğu (p=0,1005), buna karşılık FBDC modelinin p=0,0129 önem düzeyinde yüksek tahminlerde bulunduğu anlaşılmaktadır (Tablo 4.19; Şekil 4.17).



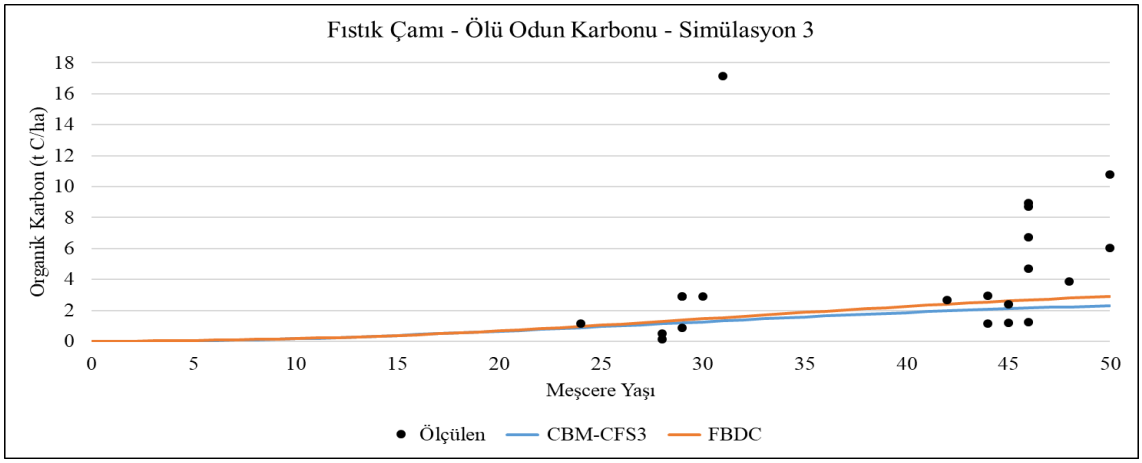
Şekil 4.17: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 2'ye göre yapılan tahminlerde ise CBM-CFS3 modelinin çıktılarının istatistiksel açıdan önemli düzeyde (p=0,0037) ölçülen değerlerden düşük olduğu, FBDC modelinin tahminlerinin ise ölçülen değerlerle benzer olduğu (p=0,4342) ortaya konmuştur (Tablo 4.19; Şekil 4.18).

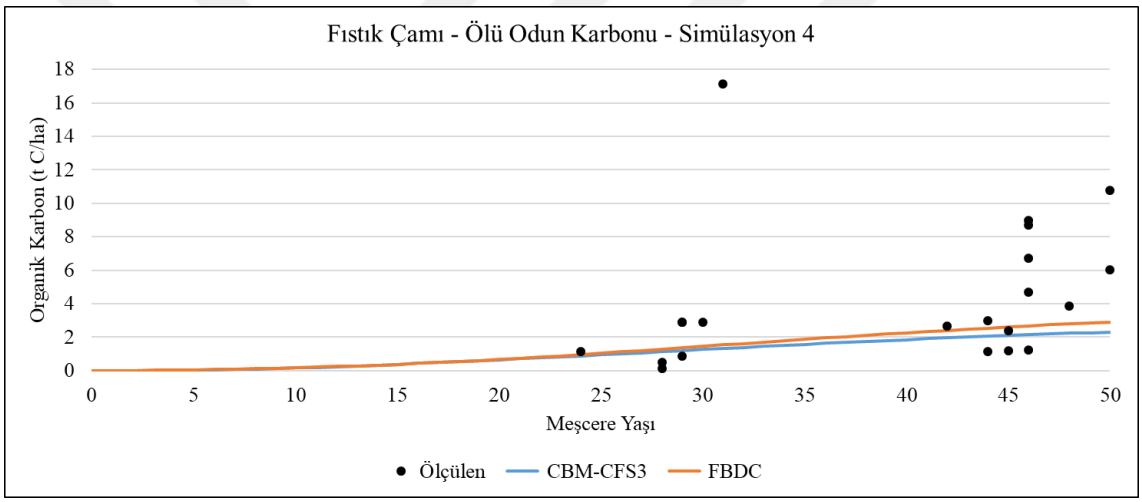


Şekil 4.18: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 3 çıktıları incelendiğinde Simülasyon 2'ye benzer şekilde CBM-CFS3 modeli ölü odun karbon miktarlarını düşük tahmin ederken (p=0,0190), FBDC modeli tahminleri ile ölülen değerler arasındaki farklar önemsiz bulunmuştur (p=0,0654) (Tablo 4.19; Şekil 4.19). CBM-CFS3 modelinin Simulasyon 4'e göre çıktıları ölçülen değerlerden istatistiksel açıdan önemli düzeyde iken FBDC modelinin tahminleri önemsizdir ($p_{\text{CBM-CFS3}}$=0,0096, p_{FBDC}=0,0516) (Tablo 4.19; Şekil 4.20).



Şekil 4.19: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.20: Fıstık çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahil Çamı

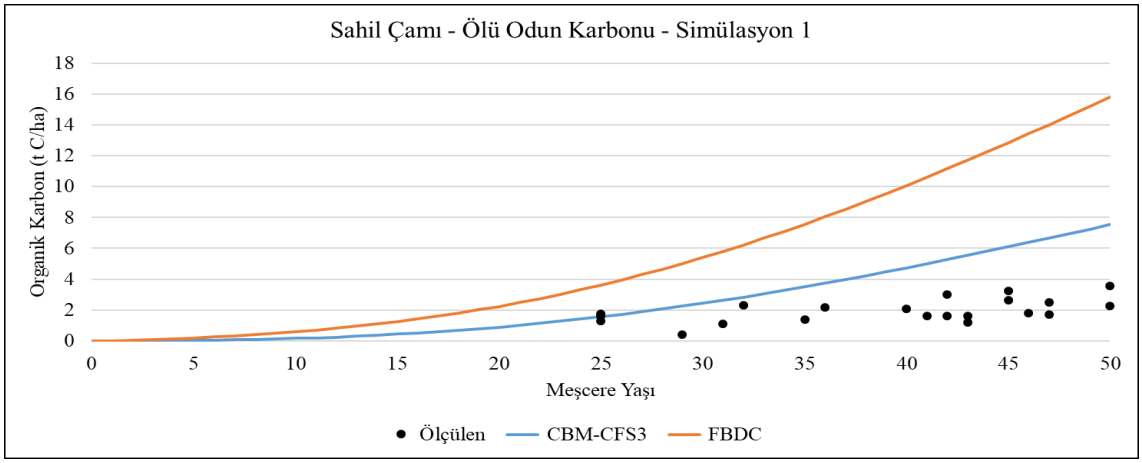
Durusu ağaçlandırmaları sahil çamı meşcerelerinde ölçülen ve 4 simülasyon ile tahmin edilen ölü odun organik karbon miktarlarına Tablo 4.9'da yer verilmiştir. Saha ölçümlerinin ortalaması 1,95 t C/ha, standart hatası ise 0,16 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Ölçümler 0,42 ile 3,55 t C/ha arasındadır.

Tablo 4.20: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		ÖOD [Ölçülen]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 1]	ÖOD FBDC [Sim 1]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 2]	ÖOD FBDC [Sim 2]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 3]	ÖOD FBDC [Sim 3]	ÖOD CBM-CFS3 [Sim 4]	ÖOD FBDC [Sim 4]
Çmb	Ort.	1,42	2,28	5,07	1,48	3,83	2,98	3,51	2,92	3,43
	Std.Ht.	0,22	0,29	0,59	0,16	0,39	0,47	0,54	0,31	0,35
	Min.	0,42	1,57	3,62	1,09	2,86	1,44	1,72	2,15	2,57
	Mak.	2,32	3,51	7,57	2,13	5,45	5,08	5,94	4,20	4,90
Çmc	Ort.	2,17	5,78	12,21	3,12	8,10	5,68	6,78	5,63	6,73
	Std.Ht.	0,25	0,54	1,11	0,22	0,61	0,70	0,86	0,40	0,51
	Min.	1,64	3,74	8,05	2,25	5,75	3,91	4,61	4,06	4,77
	Mak.	3,55	7,54	15,81	3,82	10,02	9,22	11,10	6,88	8,33
Çmcd	Ort.	2,28	5,94	12,54	3,21	8,31	6,58	7,85	6,54	7,80
	Std.Ht.	0,29	0,23	0,46	0,09	0,25	0,68	0,81	0,18	0,24
	Min.	1,19	5,27	11,16	2,93	7,56	3,11	3,72	5,99	7,09
	Mak.	3,25	6,66	14,02	3,50	9,11	8,65	10,30	7,12	8,54
Çm Genel Ortalama	Ort.	1,95	4,67	9,94	2,60	6,75	5,08	6,05	5,03	5,99
	Std.Ht.	0,16	0,43	0,88	0,20	0,52	0,48	0,58	0,38	0,46
	Min.	0,42	1,57	3,62	1,09	2,86	1,44	1,72	2,15	2,57
	Mak.	3,55	7,54	15,81	3,82	10,02	9,22	11,10	7,12	8,54
	p		0,0001	0,0001	0,0033	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Δ_{Tahmin}		2,71	7,99	0,65	4,79	3,13	4,09	3,08	4,03

ÖOD: Ölü Odun, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

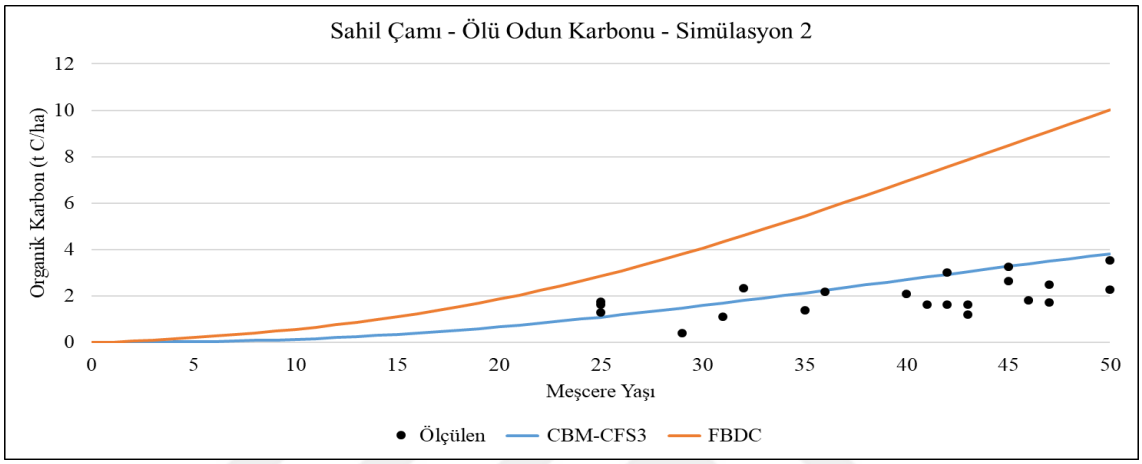
Sahil çamı meşcerelerine ait Simülasyon 1 tahminleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Buna göre her iki modelde sahil çamı meşcerelerinde ölü odun karbon miktarlarını yüksek tahmin etmektedir. Örnek alanlardaki ölü odun karbon miktarları CBM-CFS3 modeli ile 4,67±0,43 t C/ha, FBDC modeli ile 9,94±0,88 t C/ha olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.20).



Şekil 4.21: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

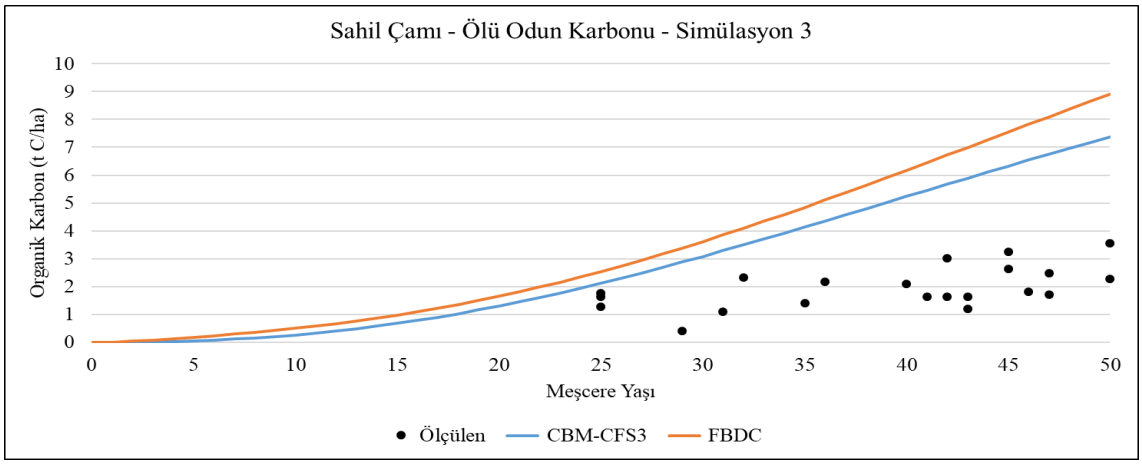
Sahil çamı meşcerelerinde uygulanan 2. simülasyon bulgularına göre CBM-CFS3 modeliyle örnek alanlarda hesaplanan ölü odun karbon miktarları tahminleri ortalaması 2,6±0,2 t C/ha olarak belirlenmiştir. Modelin 2. simülasyon için en düşük ve en yüksek tahmin değerleri 1,09

t C/ha ile 3,82 t C/ha arasındadır. FBDC modeline göre ise örnek alanlardaki ortalama ölü odun karbon miktarı 6,75 t C/ha, standart hatası ise 0,52 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Tahmin değerlerinin 2,86 ile 10,02 t C/ha arasında olduğu görülmektedir (Tablo 4.20). Simülasyon 1'e benzer şekilde, her iki model de ölü odun karbon miktarlarını alan ölçümlerinden yüksek tahmin etmektedir. Tahminler istatistiksel bakımdan önemlidir ($p_{CBM\text{-}CFS3}$=0,0033, p_{FBDC}<0,0001) (Tablo 4.20; Şekil 4.22).



Şekil 4.22: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

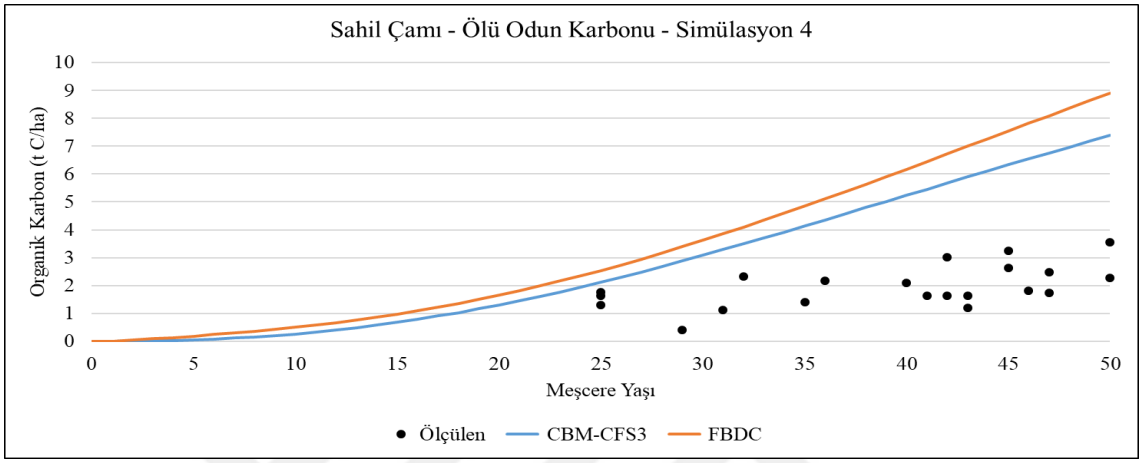
Simülasyon 4 sonuçları Simülasyon 3 ile oldukça benzerdir ve her iki model de ölçülen ölü odun karbon miktarlarından daha yüksek tahminlerde bulunmaktadır (Tablo 4.20; Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 4 için CBM-CFS3 model ortalaması 5,03 t C/ha, tahminin standart hatası ise 0,38 t C/ha olarak hesaplanmıştır. 2,15 ile 7,12 t C/ha arasında tahmin değerlerine sahip simülasyon sonucunda bu model alan ölçümlerine nazaran yüksek tahminlere sahiptir. FBDC modeli

ortalama olarak 6,08±0,47 t C/ha'lık bir tahmin ile sonuçlanmıştır. Bu tahminler 2,57 ile 8,66 t C/ha arasında değişmektedir. Diğer simülasyonlara benzer şekilde bu simülasyonda da yüksek bir tahmin değeri söz konusudur. Ek olarak, yine diğer simülasyonları takiben, Simülasyon 4 de her iki modelin istatistiksel açıdan önemli ($p < 0,0001$) tahmin verilerine sahip olması ile sonuçlandırılmıştır (Tablo 4.20).



Şekil 4.24: Sahil çamı örnek alanlarının ölü odun havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

4.3.4. Toprak Havuzundaki Organik Karbon

Fıstık Çamı

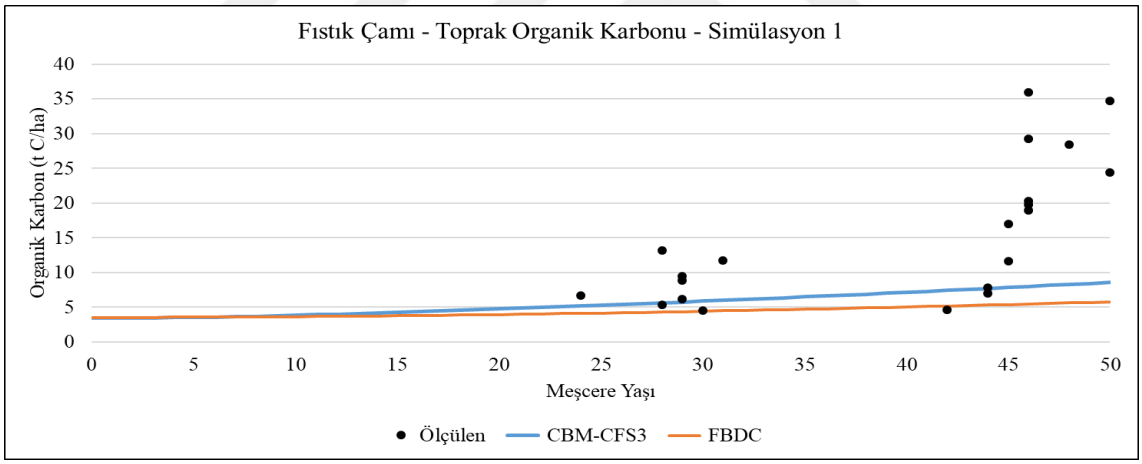
Araştırma alanındaki fıstık çamı meşcerelerinde bulunan toprak organik karbon miktarlarının tahmini amacıyla gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ve ilgili örnek alanlada miktarlar Tablo 4.21'da gösterilmiştir. Örnek alanlarda ölçülen TOK miktarlarının ortalaması 15,52±2,2 t C/ha kadardır. En düşük ve en yüksek TOK miktarları 4,52 t C/ha ile 35,94 t C/ha arasında değişmektedir.

Tüm simülasyonlarda her iki model de toprak organik karbon miktarlarını ölçülen değerlerden düşük tahmin etmiştir (Şekil 4.25; Şekil 4.26; Şekil 4.27; Şekil 4.28). CBM-CFS3 modelinin tahminleri sırasıyla 7,12±0,26 t C/ha, 6,62±0,53 t C/ha, 6,72±0,34 t C/ha ve 6,73 ±0,26 t C/ha'dır. FBDC modelinin tahminleri CBM-CFS3 modelinden de düşük olup, yine sırasıyla 5,04±0,13 t C/ha, 5,30±0,17 t C/ha, 4,53±0,26 t C/ha ve 4,25±0,13 t C/ha olarak bulunmuştur (Tablo 4.21). Modellerin TOK miktarlarını düşük tahmin ettiği istatistiksel analizlerde de görülmektedir.

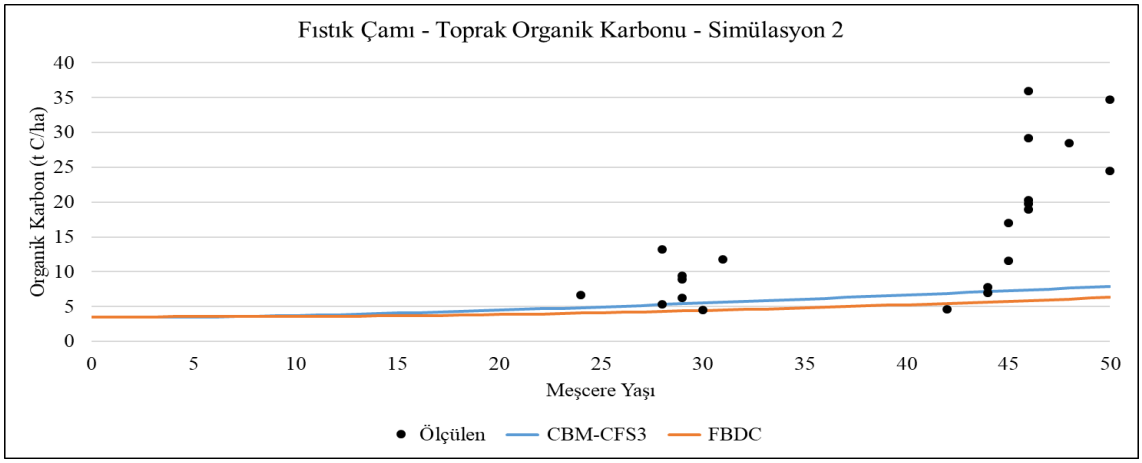
Tablo 4.21: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının toprak organik karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		TOK [Ölçülen]	TOK CBM-CFS3 [Sim 1]	TOK FBDC [Sim 1]	TOK CBM-CFS3 [Sim 2]	TOK FBDC [Sim 2]	TOK CBM-CFS3 [Sim 3]	TOK FBDC [Sim 3]	TOK CBM-CFS3 [Sim 4]	TOK FBDC [Sim 4]
Çfb	Ort.	7,38	6,25	4,61	5,84	4,71	5,56	3,82	5,52	3,61
	Std.Ht.	0,93	0,40	0,20	0,36	0,27	0,63	0,45	0,33	0,11
	Min.	4,52	5,19	4,11	4,87	4,05	4,34	2,86	4,64	3,36
	Mak.	11,59	7,85	5,40	7,28	5,78	8,09	5,65	6,82	4,05
Çfc	Ort.	11,63	6,91	4,93	6,44	5,14	6,92	5,01	6,98	4,96
	Std.Ht.	1,96	0,40	0,20	0,36	0,27	0,60	0,56	0,42	0,25
	Min.	4,64	5,64	4,31	5,28	4,30	5,06	3,30	5,66	4,18
	Mak.	18,90	7,99	5,47	7,41	5,88	8,81	6,83	8,10	5,65
Çfcd	Ort.	27,56	8,20	5,57	7,59	6,04	7,68	4,78	7,70	4,79
	Std.Ht.	2,43	0,11	0,05	0,09	0,08	0,13	0,17	0,09	0,05
	Min.	19,80	7,99	5,47	7,41	5,88	7,23	4,34	7,51	4,69
	Mak.	35,94	8,58	5,77	7,91	6,32	8,19	5,68	8,03	4,97
Çf Genel Ortalama	Ort.	15,52	7,12	5,04	6,62	5,30	6,72	4,53	6,73	4,45
	Std.Ht.	2,20	0,26	0,13	0,23	0,17	0,34	0,26	0,26	0,16
	Min.	4,52	5,19	4,11	4,87	4,05	4,34	2,86	4,64	3,36
	Mak.	35,94	8,58	5,77	7,91	6,32	8,81	6,83	8,10	5,65
	p		0,0007	0,0001	0,0004	0,0001	0,0003	0,0001	0,0003	0,0001
	Δ_{Tahmin}		-8,40	-10,48	-8,90	-10,23	-8,80	-10,99	-8,79	-11,07

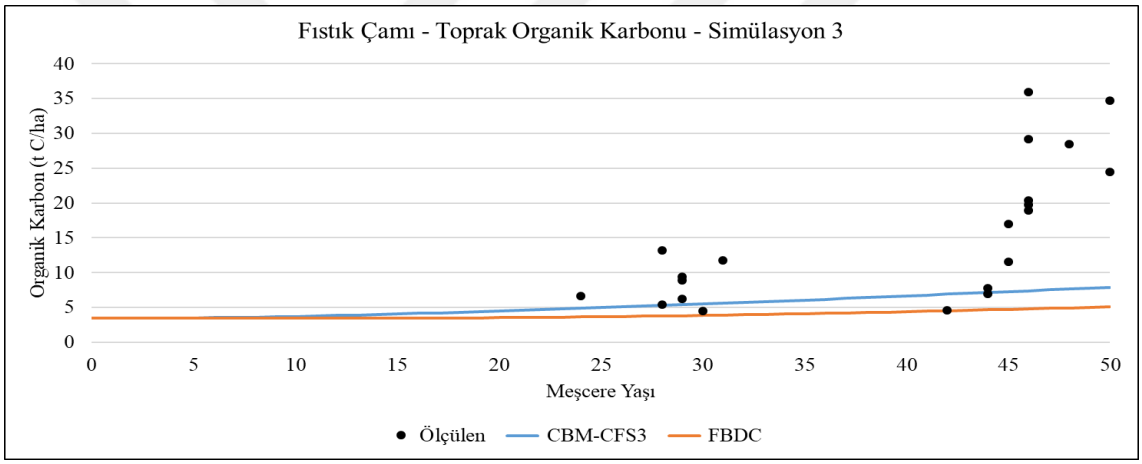
TOK: Toprak Organik Karbonu, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.



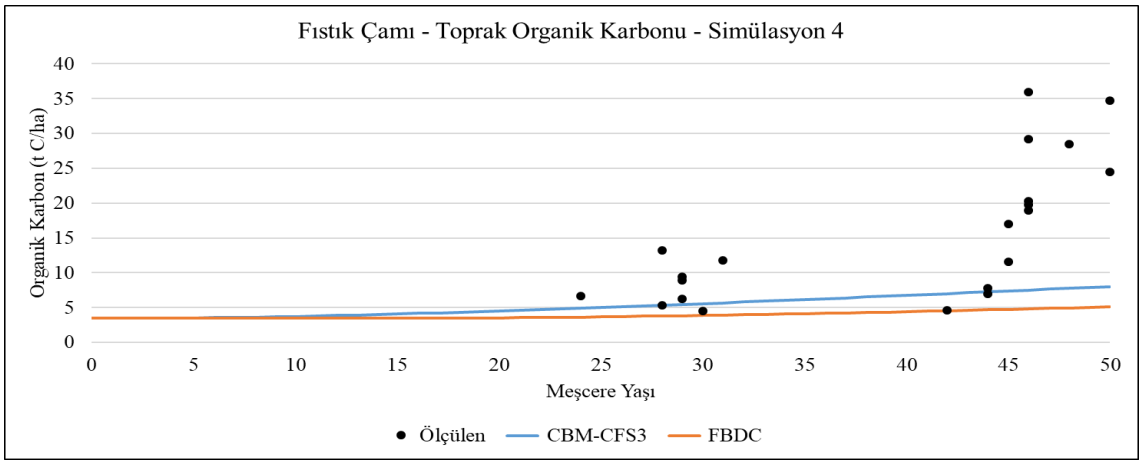
Şekil 4.25: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.26: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.27: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.28: Fıstık çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahil Çamı

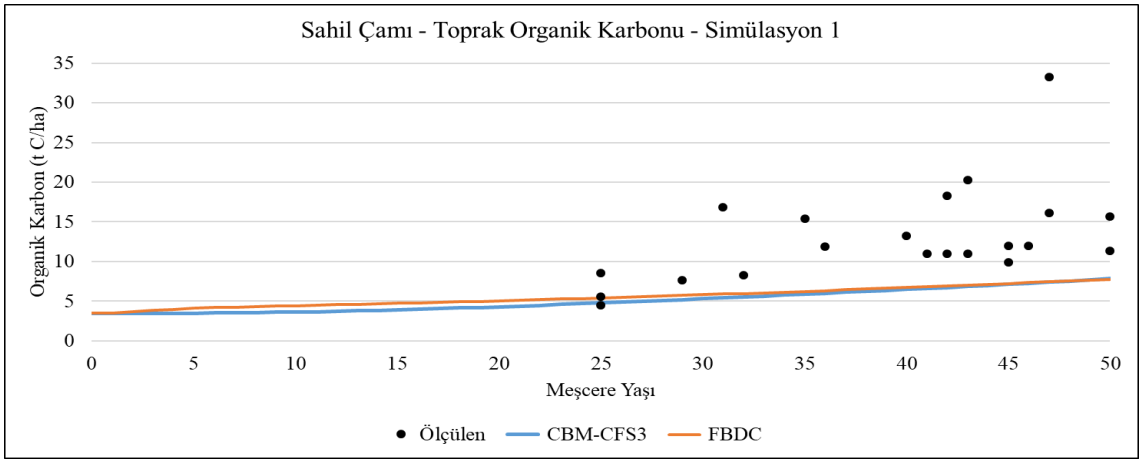
Sahil çamı örnek alanlarındaki ölçülen ortalama TOK miktarı 13,04±1,34 t C/ha olarak hesaplanmıştır. En düşük ve en yüksek TOK miktarları 4,52 t C/ha ile 33,24 t C/ha arasında değişmektedir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının toprak organik karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		TOK [Ölçülen]	TOK CBM-CFS3 [Sim 1]	TOK FBDC [Sim 1]	TOK CBM-CFS3 [Sim 2]	TOK FBDC [Sim 2]	TOK CBM-CFS3 [Sim 3]	TOK FBDC [Sim 3]	TOK CBM-CFS3 [Sim 4]	TOK FBDC [Sim 4]
Çmb	Ort.	9,57	5,21	5,73	5,08	5,90	5,89	5,57	5,89	5,53
	Std.Ht.	1,79	0,17	0,13	0,16	0,17	0,27	0,37	0,21	0,15
	Min.	4,52	4,79	5,42	4,67	5,48	4,95	4,27	5,36	5,16
	Mak.	16,88	5,89	6,25	5,75	6,61	6,88	7,40	6,76	6,15
Çmc	Ort.	12,31	7,00	7,12	6,84	7,92	8,13	6,93	8,09	6,89
	Std.Ht.	0,64	0,26	0,21	0,26	0,32	0,49	0,55	0,35	0,26
	Min.	10,98	6,01	6,35	5,87	6,74	6,71	5,39	6,78	5,95
	Mak.	15,70	7,84	7,78	7,66	8,95	10,45	9,74	9,24	7,72
Çmcd	Ort.	17,25	7,07	7,18	6,92	8,00	8,55	7,65	8,53	7,62
	Std.Ht.	3,04	0,11	0,09	0,11	0,13	0,37	0,57	0,16	0,12
	Min.	9,93	6,75	6,93	6,60	7,61	6,77	4,65	8,05	7,25
	Mak.	33,24	7,42	7,45	7,26	8,42	9,57	9,43	9,05	8,01
Çm Genel Ortalama	Ort.	13,04	6,43	6,68	6,28	7,27	7,52	6,72	7,50	6,68
	Std.Ht.	1,34	0,22	0,17	0,22	0,25	0,34	0,34	0,29	0,22
	Min.	4,52	4,79	5,42	4,67	5,48	4,95	4,27	5,36	5,16
	Mak.	33,24	7,84	7,78	7,66	8,95	10,45	9,74	9,24	8,01
	p		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Δ_{Tahmin}		-6,62	-6,36	-6,77	-5,77	-5,52	-6,33	-5,54	-6,37

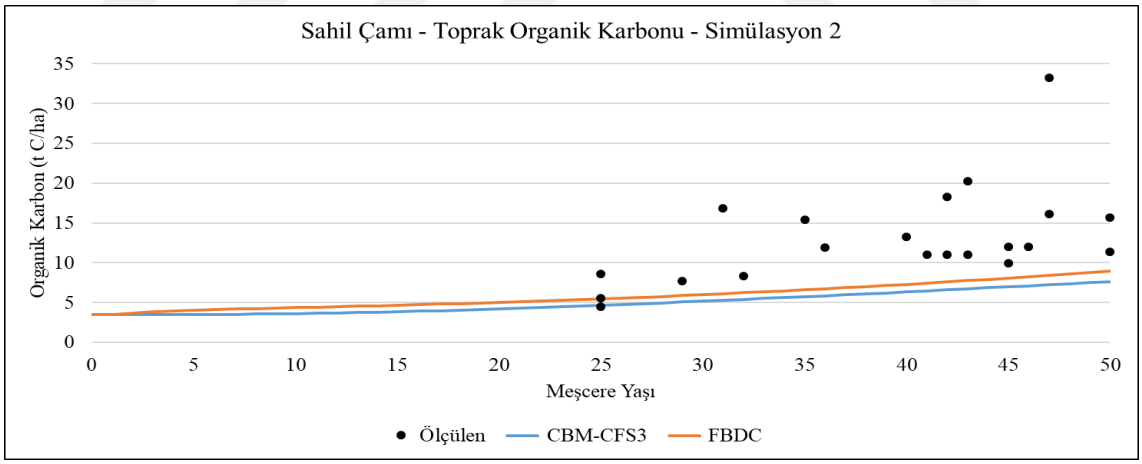
TOK: Toprak Organik Karbonu, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

Simülasyon 1'e göre CBM-CFS3 modelinin ortalama TOK tahmini 6,43±0,22 t C/ha olarak belirlenmiştir. Örnek alanlara göre tahminler 4,79 ile 7,84 t C/ha arasında değişmektedir. FBDC modelinde ise TOK miktarları ortalama 6,68±0,17 t C/ha olarak öngörülmüştür. Taminlerde en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla 7,78 t C/ha ve 5,42 olarak tespit edilmiştir. Her iki model tahminleri de de *p* değeri bakımından (<0,0001) istatistiksel açıdan önemli düzeyde ölçülen değerlerden düşüktür (Tablo 4.22; Şekil 4.29).



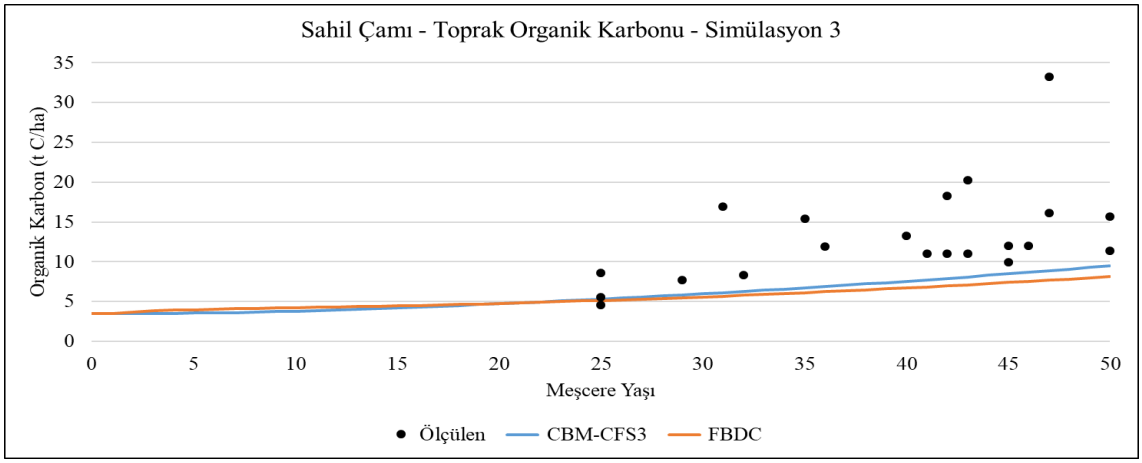
Şekil 4.29: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 2'de sahil çamı örnek alanlarındaki TOK stokları CBM-CFS3 modeli ile ortalama 6,28 t C/ha, FBDC modeli ile 7,27 t C/ha olarak simüle edilmiştir. Örnek alanlardaki TOK tahminleri CBM-CFS3 modelinde 4,67 ile 7,66 t C/ha, FBDC modelinde ise 5,48 ile 8,95 t C/ha arasında değişmektedir. TOK tahminlerine bakıldığında CBM-CFS3 modeli ölçülen değerlerden 6,77 t C/ha, FBDC modeli ise 5,77 t C/ha kadar düşük tahmin etmektedir ve bu durum istatistiksel açıdan da $p<0,0001$ önem düzeyinde anlamlıdır (Tablo 4.22; Şekil 4.30).



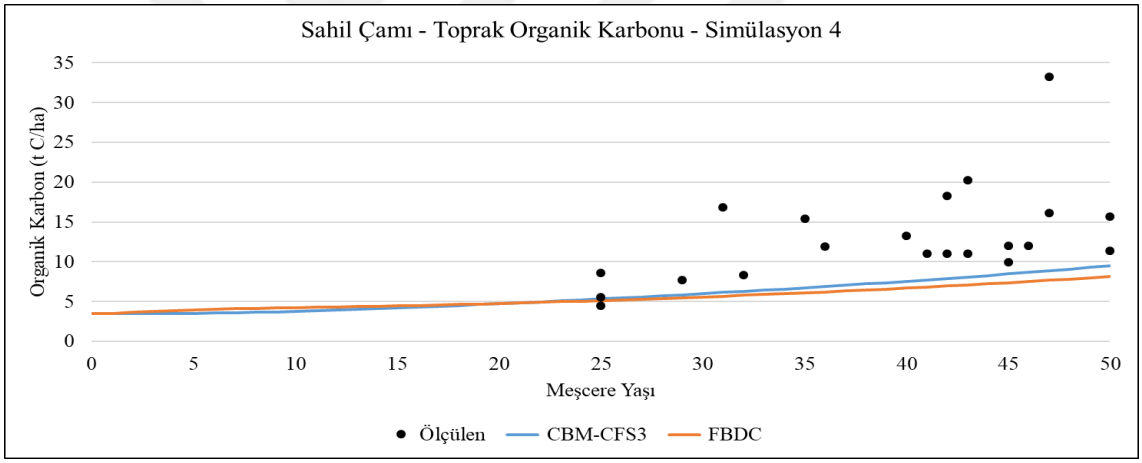
Şekil 4.30: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 3'e göre örnek alanlardaki TOK miktarları CBM-CFS3 7,52±0,34 t C/ha olarak saptanmış olup, TOK tahmin değerleri örnek alanlara göre 4,95 t C/ha ile 10,45 t C/ha arasında değişmektedir. FBDC modelinden elde edilen TOK tahminlerinin ortalaması 6,72± 0,34 t C/ha, minimum ve maksimum TOK değerleri ise 4,27 t C/ha ile 9,74 t C/ha olarak hesaplanmıştır. Her iki modelin tahminleri ölçülen değerlerden düşüktür ve aralarındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0,0001$) önemlidir (Tablo 4.22; Şekil 4.31).



Şekil 4.31: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Simülasyon 4'e göre elde edilen TOK tahminleri her iki modelde de Simülasyon 3 ile oldukça benzerdir ve ölçülen değerlerden önemli düzeyde daha düşüktür (Tablo 4.22; Şekil 4.32).



Şekil 4.32: Sahil çamı örnek alanlarının toprak havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

4.3.5. Toplam Ekosistem Havuzundaki Organik Karbon

Fıstık Çamı

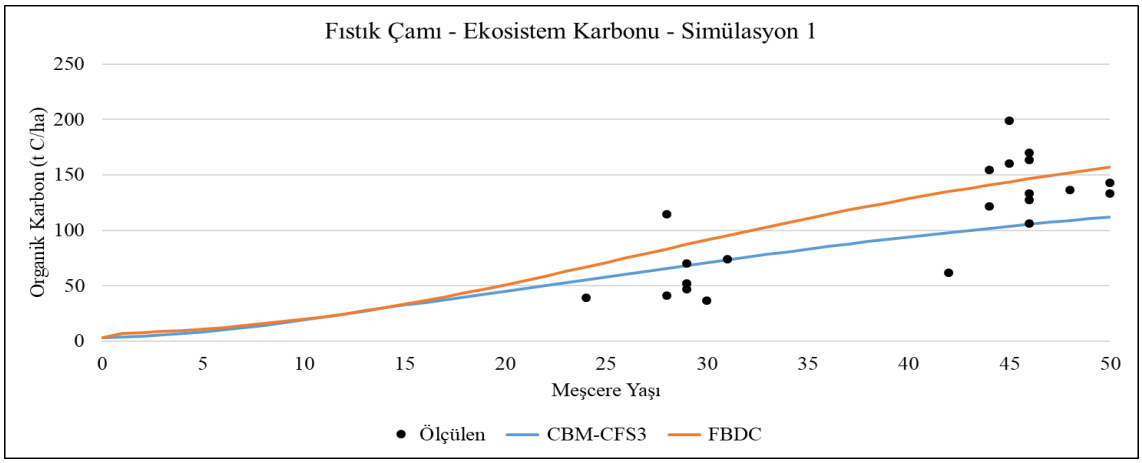
Çalışma alanımızda bitkisel kütle, ölü örtü, ölü odun ve topraklardaki karbon miktarları toplanarak ekosistemdeki toplam karbon stokları (EKO) da belirlenmiştir. Buna göre fıstık çamı örnek alanlarındaki toplam karbon stokları 36,52 t C/ha ile 198,78 t C/ha arasında değişmekte olup, ortalama 108,75±10,89 t C/ha'dır (Tablo 4.13).

Tablo 4.23: Fıstık çamı meşcere gelişim çağlarının toplam ekosistem karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

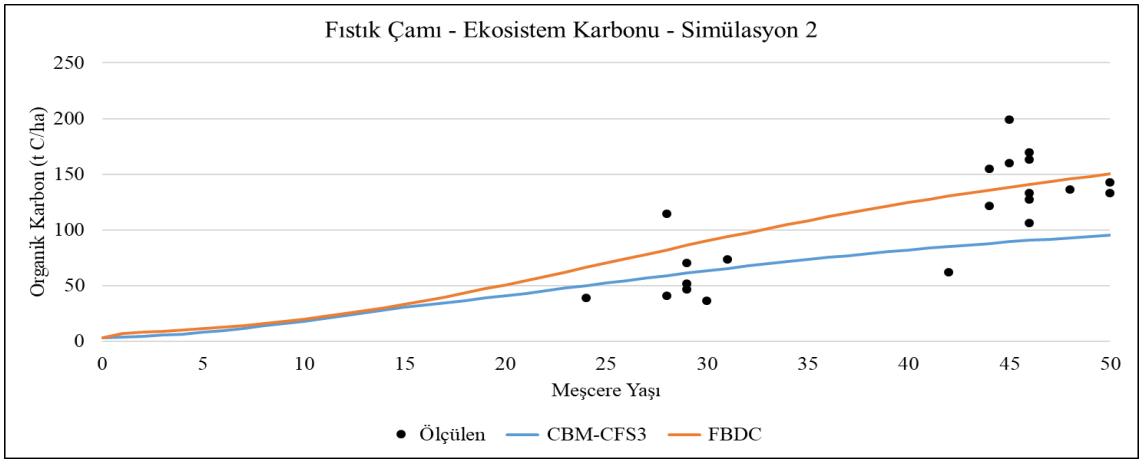
		EKO [Ölçülen]	EKO CBM-CFS3 [Sim 1]	EKO FBDC [Sim 1]	EKO CBM-CFS3 [Sim 2]	EKO FBDC [Sim 2]	EKO CBM-CFS3 [Sim 3]	EKO FBDC [Sim 3]	EKO CBM-CFS3 [Sim 4]	EKO FBDC [Sim 4]
Çfb	Ort.	71,11	76,27	100,12	67,48	97,92	59,55	62,16	54,89	56,18
	Std.Ht.	18,64	7,10	11,29	5,71	10,56	16,22	17,80	4,61	5,91
	Min.	36,52	55,17	66,85	50,04	66,36	26,71	26,45	40,82	38,50
	Mak.	160,28	103,67	143,74	89,35	138,58	125,07	134,23	72,55	78,94
Çfc	Ort.	119,62	88,06	118,85	77,00	115,48	103,41	109,96	102,22	108,92
	Std.Ht.	20,31	6,80	10,84	5,41	10,09	18,08	20,07	7,23	9,50
	Min.	61,86	65,71	83,27	59,06	82,22	44,79	45,50	78,24	77,61
	Mak.	198,78	105,43	146,53	90,62	141,07	161,31	174,65	120,42	133,02
Çfcd	Ort.	135,52	107,78	150,23	92,27	144,34	96,47	102,61	96,59	102,77
	Std.Ht.	7,20	1,18	1,85	0,83	1,63	5,17	5,75	0,86	1,15
	Min.	106,04	105,43	146,53	90,62	141,07	83,99	88,60	94,87	100,47
	Mak.	169,86	111,98	156,82	95,20	150,15	124,79	134,05	99,66	106,84
Çf Genel Ortalama	Ort.	108,75	90,70	123,07	78,92	119,25	86,48	91,58	84,57	89,29
	Std.Ht.	10,89	4,27	6,80	3,39	6,32	8,96	9,87	5,45	6,35
	Min.	36,52	55,17	66,85	50,04	66,36	26,71	26,45	40,82	38,50
	Mak.	198,78	111,98	156,82	95,20	150,15	161,31	174,65	120,42	133,02
	p		0,0386	0,0457	0,0051	0,1698	0,0001	0,0002	0,0157	0,0173
	Δ_{Tahmin}		-18,05	14,32	-29,83	10,50	-22,27	-17,17	-24,18	-19,46

EKO: Toplam Ekosistem Karbonu, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.

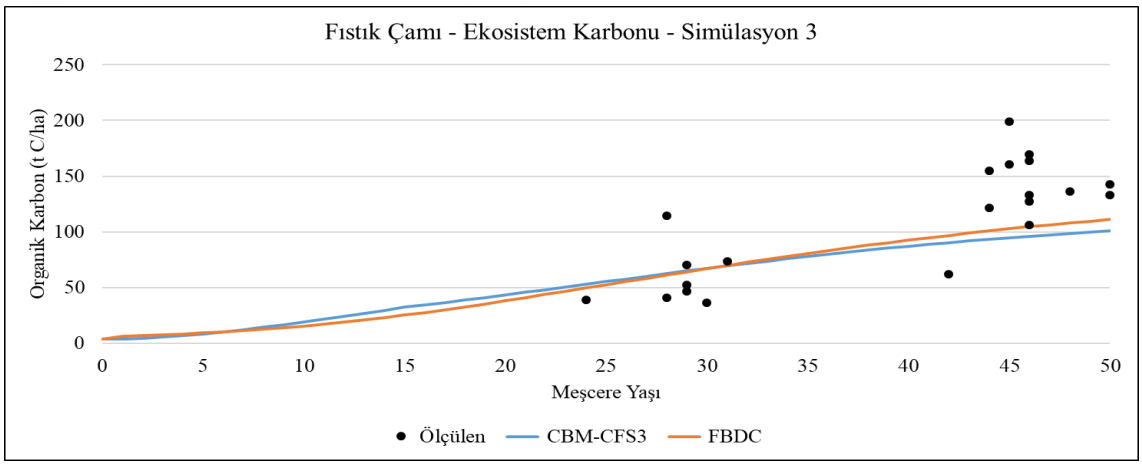
CBM-CFS3 modeli dört simülasyonda da toplam ekosistem karbonunu ölçülen değerlerden düşük tahmin etmiştir. Buna karşılık FBDC modelinin ilk iki simülasyondaki tahminleri yüksektir. Ancak Simülasyon 2'de FBDCnin tahmin ettiği değerler ile ölçülen değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsizdir. FBDC Modeli Simülasyon 3 ve 4'de toplam ekosistem karbonunun düşük tahmin etmiştir ve ölçülen ile tahmin edilen değerler arasındaki fark istatistiksel açıdan da önemlidir (Tablo 4.13; Şekil 4.33; Şekil 4.34; Şekil 4.35; Şekil 4.36).



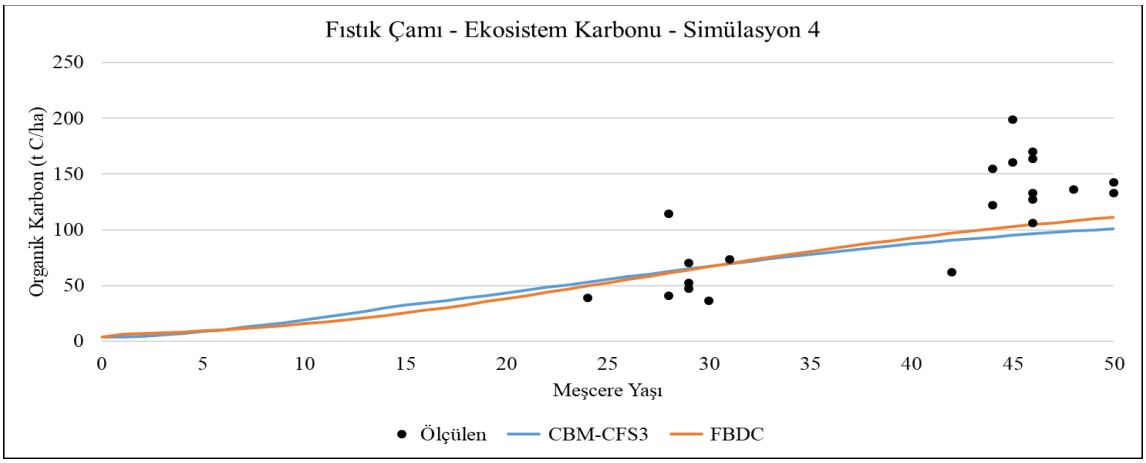
Şekil 4.33: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.34: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.35: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.36: Fıstık çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

Sahil Çamı

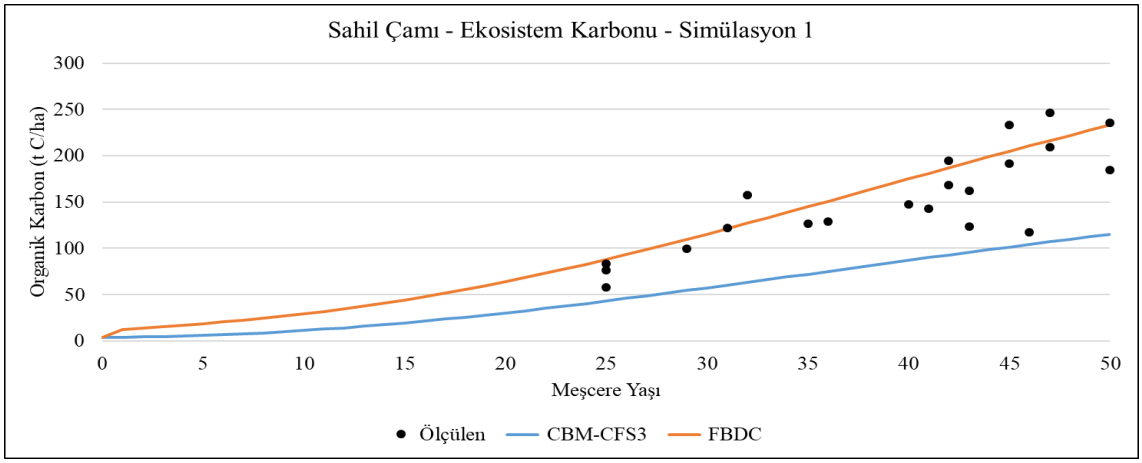
Sahil çamı örnek alanlarında karbon havuzlarında ölçülen ortlama karbon stok miktarı 152,83±11,62 t C/ha'dır. Minimum ve maksium miktarlar ise 58,01 t C/ha ile 246,69 t C/ha arasında değişmektedir (Tablo 4.15).

CBM-CFS3 modeli tüm simülasyonlarda ortalama ekosistem karbon miktarını düşük tahmin etmektedir. Bu modelin tahminleri ile ölçülen değerler arasındaki farklar ilk iki simülasyonda istatistiksel açıdan önemli iken son iki simülasyonda önemsizdir. Bu nedenle Simülasyon 3 ve 4'te CBM-CFS3 modelinin tahminlerinin toplam ekosistem karbon havuzunda ölçülen değerlerle benzer olduğu söylenebilir. Buna karşılık FBDC modeli ortalama EKO değerleri dikkate alındığında tüm simülasyonlarda ölçülen değerlerden yüksek tahminler yapmıştır (Şekil 4.37; Şekil 4.38; Şekil 4.39; Şekil 4.40).

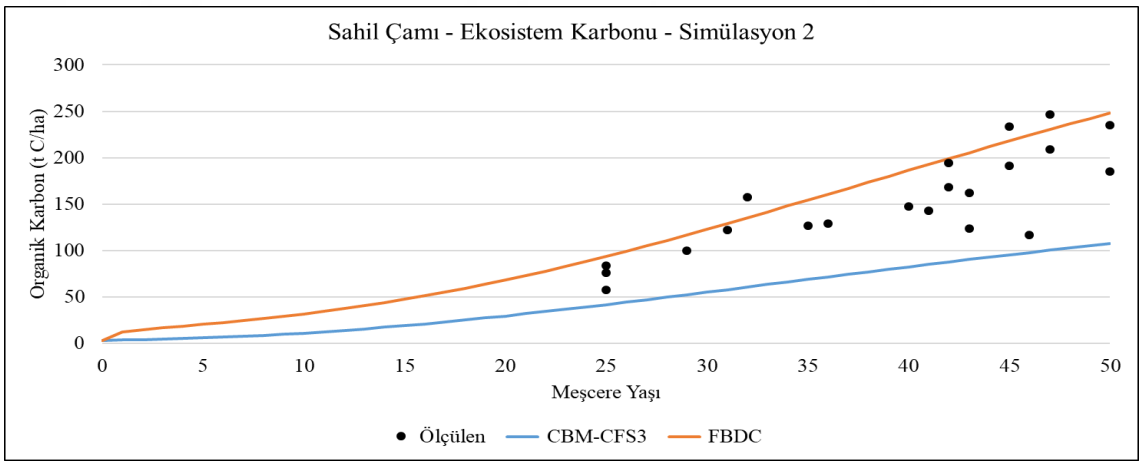
Tablo 4.24: Sahil çamı meşcere gelişim çağlarının toplam ekosistem karbonu havuzlarında ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha) (n=21).

		EKO [Ölçülen]	**EKO CBM-CFS3 [Sim 1]**	**EKO FBDC [Sim 1]**	**EKO CBM-CFS3 [Sim 2]**	**EKO FBDC [Sim 2]**	**EKO CBM-CFS3 [Sim 3]**	**EKO FBDC [Sim 3]**	**EKO CBM-CFS3 [Sim 4]**	**EKO FBDC [Sim 4]**
Çmb	Ort.	103,39	54,24	109,55	52,24	116,70	98,80	106,81	97,24	105,00
	Std.Ht.	12,92	4,38	8,56	4,11	9,10	13,16	14,45	7,85	8,17
	Min.	58,01	43,19	88,02	41,85	93,80	53,85	57,44	77,40	84,46
	Mak.	157,61	72,15	144,85	68,97	154,25	159,43	173,79	129,23	138,69
Çmc	Ort.	159,79	97,52	196,68	91,80	209,34	160,78	175,39	159,75	174,21
	Std.Ht.	15,07	5,66	11,64	5,03	12,36	17,36	19,61	8,89	10,26
	Min.	117,11	75,14	150,86	71,71	160,65	116,54	125,68	124,25	133,80
	Mak.	235,25	115,24	233,19	107,43	248,10	248,58	274,64	187,39	206,38
Çmcd	Ort.	195,29	99,80	201,28	93,95	214,26	184,75	202,11	183,86	201,07
	Std.Ht.	15,51	2,31	4,76	2,04	5,06	17,88	20,06	4,08	4,74
	Min.	123,92	92,86	186,99	87,80	199,08	91,96	98,14	171,59	186,84
	Mak.	246,69	107,08	216,30	100,37	230,21	240,03	264,00	196,67	216,02
Çm Genel Ortalama	Ort.	152,83	83,85	169,17	79,33	180,10	148,11	161,43	146,95	160,09
	Std.Ht.	11,62	5,26	10,59	4,80	11,26	12,04	13,42	9,07	10,07
	Min.	58,01	43,19	88,02	41,85	93,80	53,85	57,44	77,40	84,46
	Mak.	246,69	115,24	233,19	107,43	248,10	248,58	274,64	196,67	216,02
	p		0,0001	0,0273	0,0001	0,0010	0,1698	0,0228	0,1924	0,2238
	Δ_{Tahmin}		-68,97	16,35	-73,50	27,28	-4,72	8,61	-5,87	7,27

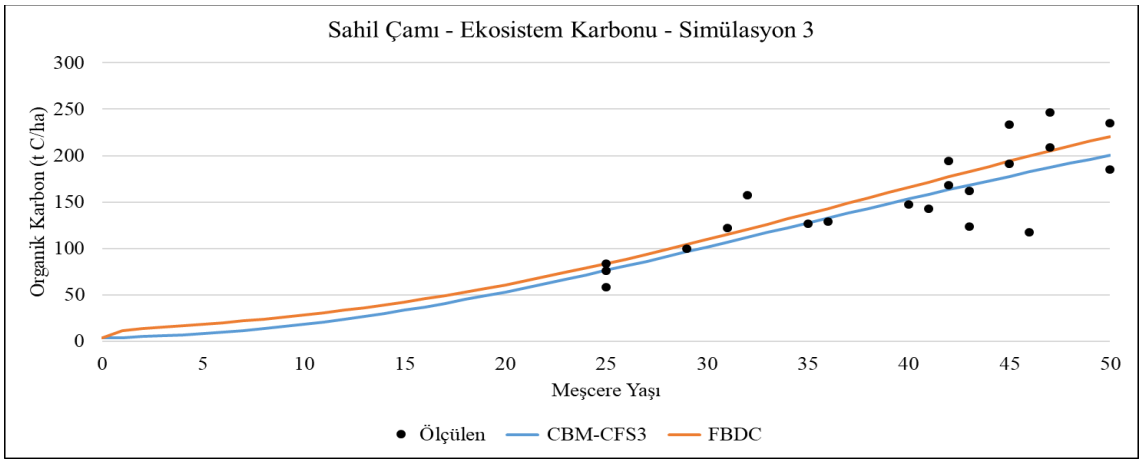
EKO: Toplam Ekosistem Karbonu, Sim: Simülasyon, Ort.: Ortalama, Std.Ht.: Standart Hata, Min.: Minimum, Mak.: Maksimum.



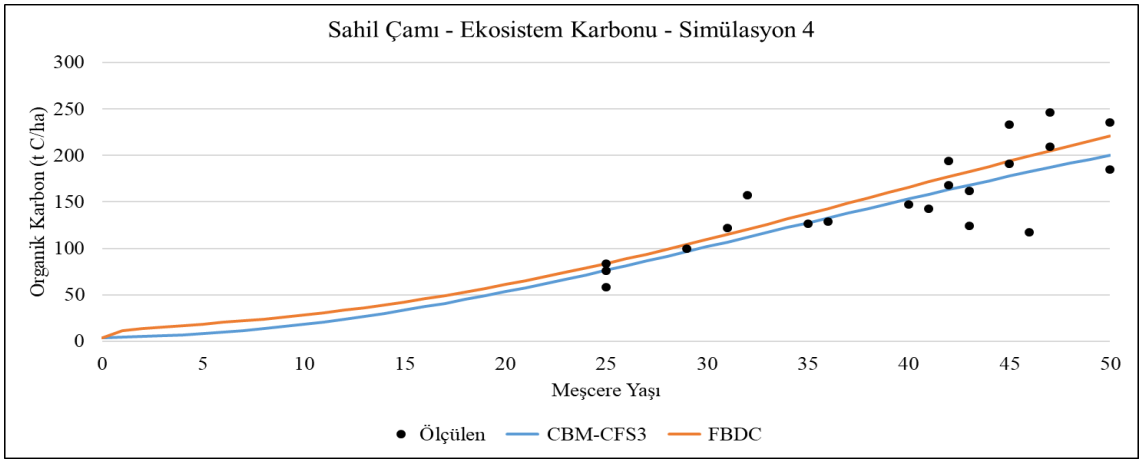
Şekil 4.37: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 1. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.38: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 2. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).



Şekil 4.39: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 3. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

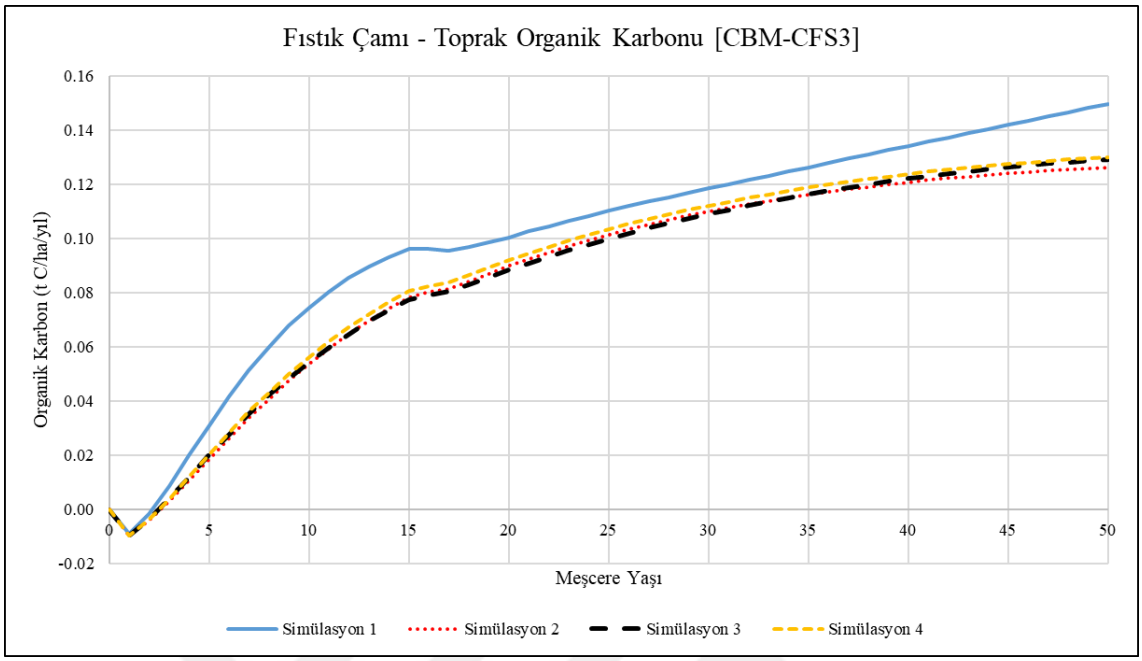


Şekil 4.40: Sahil çamı örnek alanlarının toplam ekosistemde ölçülen ve CBM-CFS3 ile FBDC modelleriyle 4. simülasyonda tahmin edilen karbon miktarları (t C/ha).

4.3.6. Toprak Organik Karbon Havuzundaki Yıllık Değişimler

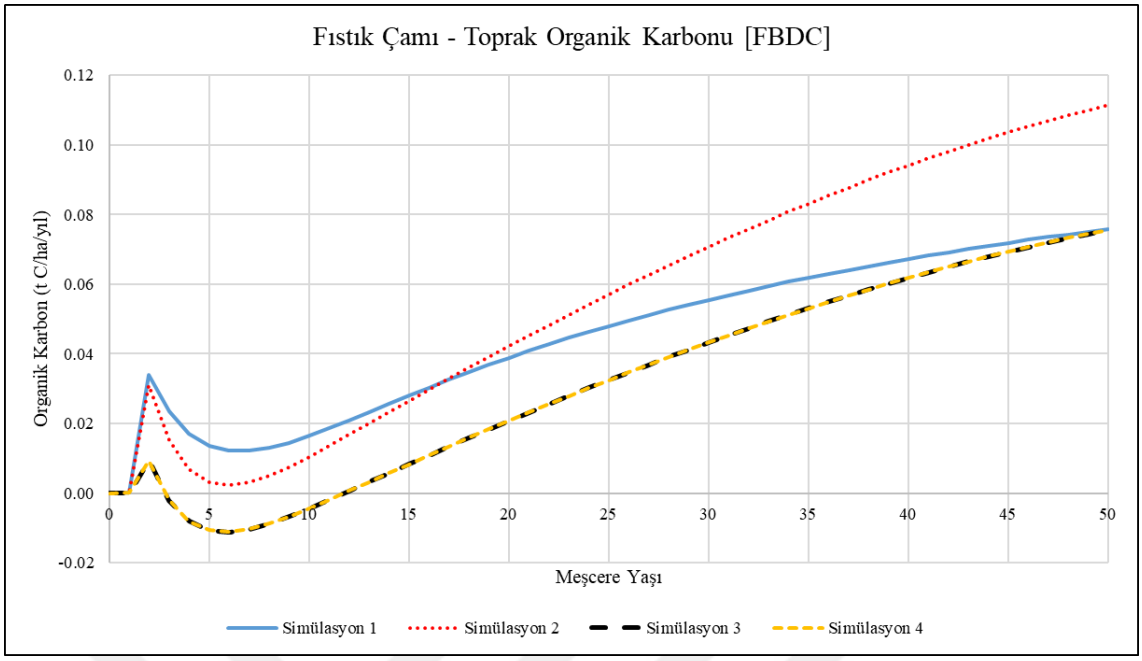
TOK stoklarını tahmin etmede kullanılan modellerin çıktılarından ardaşık iki yılın arasındaki farklardan yıllık birikimler de tahmin edilebilmektedir. CBM-CFS3 ve FBDC modelleri ile toprak organik karbon havuzundaki yıllık değişimler bu bölümde ele alınmıştır.

Şekil 4.41'de verilen CBM-CFS3 modeli ile tahmin edilen TOK havuzundaki yıllık karbon birikimleri incelendiğinde ilk iki yıl TOK stoklarının azaldığı, üçüncü yaştan tibaren artmaya başladığı görülmektedir. Azalma modelin kabullerinden kaynaklanmaktadır. Simülasyon 1'de daha belirgin olmak üzere tüm simülasyonlarda 15. ve 16. yaşlarda yıllık organik karbon birikimindeki artış eğiliminde bir değişiklik görülmektedir. Bu durum bitkisel kütleyi tahmin etmede kullanılan Pehlivan (1997) tarafından hazırlanan yaşa bağımlı hacim verisinden kaynaklanmaktadır. Ancak genel olarak fıstık çamı ağaçlandırmalarında ilk iki yılda karbon stoklarındaki azalma haricinde toprak organik karbon havuzunda karbon birikimi olduğu anlaşılmaktadır. Simülasyon 1'deki yıllık birikimler diğer üç simülasyona göre daha yüksektir. Bu simülasyonda TOK havuzunda 3 yaşında 9 kg C/ha/yıl yıllık birikim 50 yaşında 0,150 t C/ha'a ulaşmaktadır. Diğer üç simülasyondaki yıllık birikimler ise 3 yaşında Simülasyon 2'de 3 kg C/ha/yıl, diğer iki simülasyonda ise 5 kg C/ha olarak bulunmuştur. Yıllık birikimler 50. yaşta her üç simülasyonda da 0,13 t C/ha/yıl olarak tahmin edilmiştir. 50 yıllık dönemin ortalaması olarak ise CBM-CF3 modeli fıstık çamı ağaçlandırmalarındaki topraklarda Simülasyon 1'de 0,10 t C/ha/yıl, diğer 3 simülasyonda 0,09 t C/ha/yıl organik karbonu birikimi olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.41: CBM-CFS3 modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre fıstık çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha/yıl) (n=21).

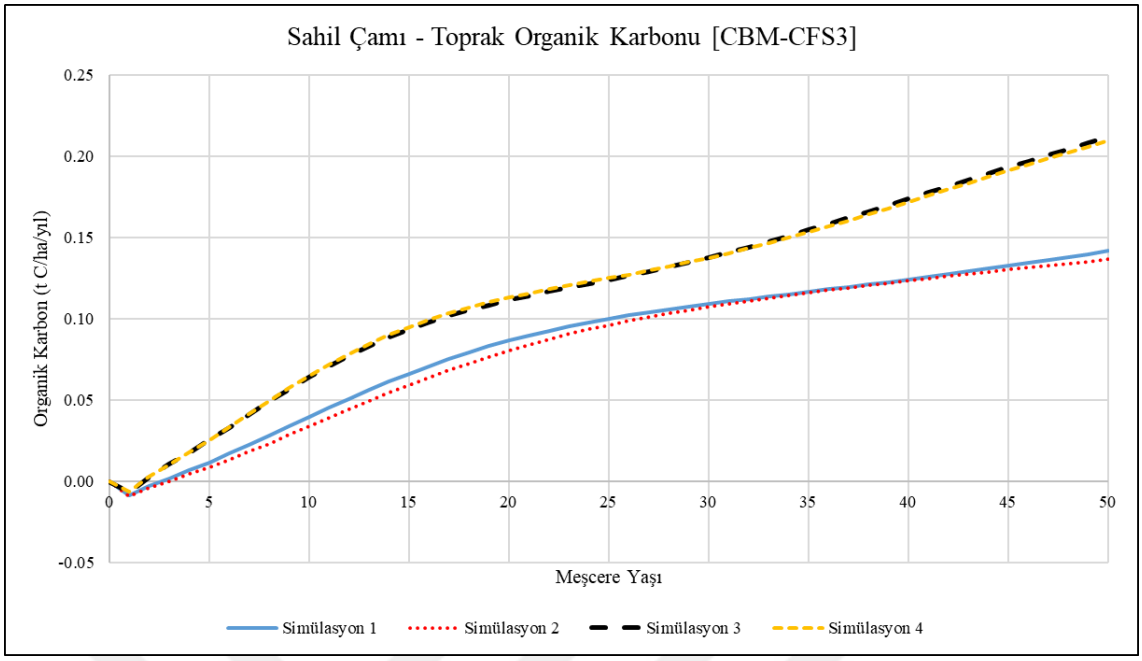
Fıstık çamı ağaçlandırmalarında TOK havuzlarındaki değişimi FBDC modeli 2. yaşta yüksek tahmin etmekte sonrasında 7. yaşa kadar yıllık değişimler azalma yönünde seyretmektedir. İlk yaşlardaki yıllık değişimin yüksek görünmesi FBDC modelinde kullanılan biyomas denkleminden kaynaklanmaktadır. Simülasyon 1 ve 2'de toprak organik karbon birikimi 7. yaşa kadar azalsa da topraklardaki başlangıç organik karbon değeri olan 3,49 t C/ha değerinin altına düşülmemektedir. Buna karşılık Simülasyon 3 ve 4'te TOK stoku 11. yaşa kadar azalmaya devam etmekte, ancak 18. yaşta başlangıç TOK değerine yeniden ulaşılmaktadır. Ağaçlandırmalar sonrasında karbon stoklarındaki azalma modellerin genel kabülüyle ilgilidir. Simülasyonlara göre yıllık TOK stok değişimleri incelendiğinde Simülasyon 1'in 16. yaşa kadar yıllık birikimleri diğer Simülasyonlardan fazla tahmin ettiği, sonrasında Simülasyon 2'nin ardında kaldığı görülmektedir. Simülasyon 3 ve 4'ün tahminleri birbirlerine oldukça benzerdir. FBDC modeli ile fıstık çamı ağaçlandırmalarında 50 yıldaki ortalama TOK stoklarındaki ortalama karbon birikimi simülasyonlara göre sırasıyla 0,04 t C/ha/yıl, 0,06 t C/ha/yıl, 0,03 t C/ha/yıl ve 0,03 t C/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Topraklarda en yüksek TOK birikimi 50. yılda gerçekleşmekte olup, simülasyonlara göre 0,08 t C/ha/yıl ile 0,11 t C/ha/yıl arasında değişmektedir (Şekil 4.42).



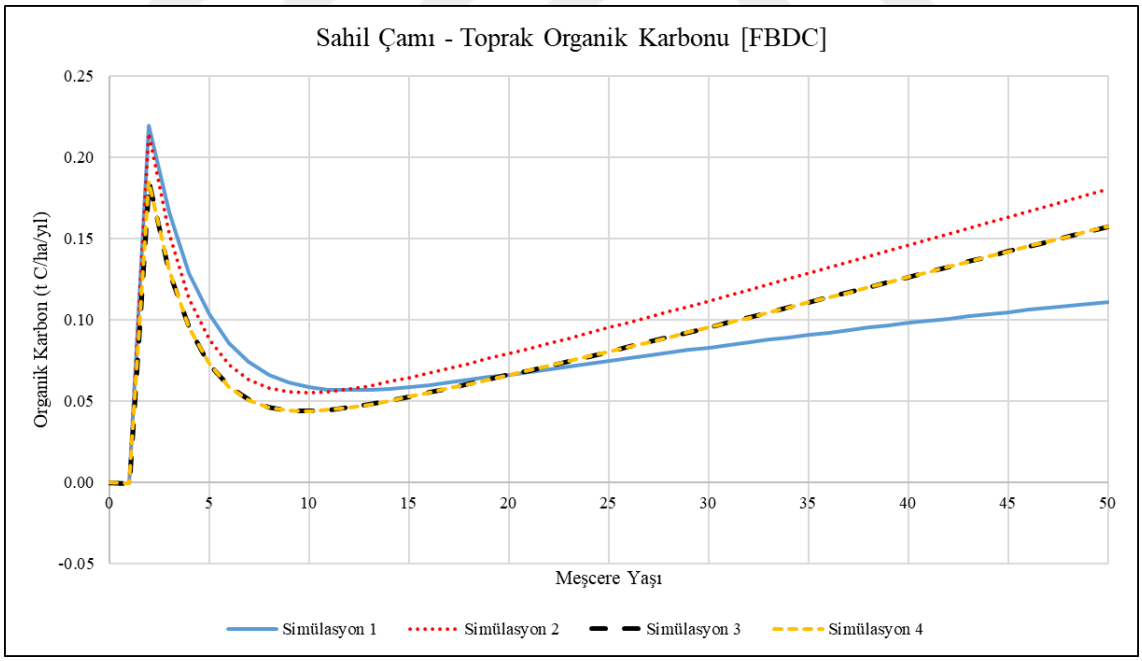
Şekil 4.42: FBDC modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre fıstık çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha/yıl) (n=21).

Sahil çamı ağaçlandırmalarında da CBM modeli tüm simülasyonlarda ilk yıllarda TOK stoklarının azaldığı yönünde tahminde bulunmaktadır. Bu azalmalar ilk iki yıl hızlı olmakta sonrasında yeniden topraklarda organik karbon birikmeye başlamakta ve Simülasyon 1 ve 2'de 5. yaşta, diğer iki simülasyonda ise 3. yaşta başlangıç değeri olan 3,49 t C/ha değerine yeniden ulaşılmaktadır. TOK stoklarındaki yıllık birikimleri büyüme çarpanı kullanılarak tahmin edilen bitkisel kütle değerlerinin ölçülenlere yaklaştırıldığı Simülasyon 3 ve 4 diğer iki simülasyondan fazla tahmin etmektedir. Simülasyonlar en yüksek TOK birikimini 50. yaşta vermekte olup Simülasyon 1 ve Simülasyon 2'de 0,14 t C/ha/yıl, diğer iki simülasyonda 0,21 t C/ha/yıl kadardır. 50 yol için TOK stoklarındaki ortalama birikim simülasyonlara göre 0,08-0,12 t C/ha/yıl arasında belirlenmiştir (Şekil 4.43).

FBDC Modeli fıstık çamında olduğu gibi sahil çamlarında da ilk yıllardaki TOK Stok değişimini yüksek tahmin etmektedir. Modelin genel kabülüne göre ağaçlandırmanın ilk yıllarında yıllık birikimler azalsa da TOK stokları artmaya devam etmektedir. Simülasyon 1 20. Yaşa kadar yıllık birikimleri diğer simülasyonlara göre daha yüksek tahmin etmektedir., sonrasında ise simülasyonların en yüksek TOK birikimi olduğunu tahmin ettiği 50. yaşta Simülasyon 1'in tahmini 0,11 t C/ha/yıl, Simülasyon 2'nin tahmini 0,18 t C/ha/yıl ve diğer iki simülasyonun tahmini 0,16 t C/ha/yıl kadardır. 50 yıldaki ortalama yıllık TOK birikim tahmini ise 0,19-0,22 t C/ha/yıl arasında değişmektedir (Şekil 4.44).



Şekil 4.43: CBM-CFS3 modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre sahil çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha) (n=21).



Şekil 4.44: FBDC modeli ile hesaplanan simülasyonlara göre sahil çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzlarındaki yıllık değişimler (t C/ha) (n=21).

5. TARTIŞMA

Hacim ve Bitkisel Kütle Verileri

Ormanlarda TOK stoklarını tahmin etmede kullanılan modellerin odağında her ne kadar toprak havuzu olsa da bu havuzdaki organik karbonun asıl kaynağı ağaçlar olduğu için öncelikli olarak modellere ormanlardaki bitkisel kütlenin yaşa bağlı olarak değişimi girdi olarak verilmek zorundadır. Modellerin ormanlardaki bitkisel kütle miktarını yüksek doğrulukta tahmini TOK stoklarındaki tahmin başarısını da yükseltmektedir. Canlı bitkisel kütlenin modellere tanıtılması farklı şekillerde olabilmektedir. Çalışmada kullanılan CBM-CFS3 modelinde bunun için öncelikle yaşa bağlı kabuksuz ticari gövde odunu hacmi verileri girdi olarak kullanılmakta, sonrasında Boudewyn yaklaşımıyla üretilen katsayılarla ağaç bileşenlerinin kütlesi model tarafından hesaplanmaktadır. FBDC modelinde ise yaşa bağlı kabuklu gövde odunu hacmi modele tanıtılmakta, ardından Tolunay ve diğ. (2017) ve bu çalışmada geliştirilen katsayılar ile bitkisel kütle verileri model tarafından hesaplanmaktadır. Araştırmada, çalışma alanı için aynı örnek alanları kullanılarak Pehlivan (2017) tarafından hem fıstık çamı hem de sahil çamı için geliştirilen yaşa bağlı hacim verileri kullanılmıştır. CBM-CFS3 modelinin fıstık çamı meşcerelerinde her 4 simülasyon için de tahmin ettiği toplam bitkisel kütledeki karbon stokları ile ölçülen karbon stokları arasında fark bulunamamıştır. Buna karşılık FBDC modeli büyüme çarpanlarının kullanılmadığı ilk 2 simülasyonda TBK karbon stoklarını fazla tahmin etmiştir. Sahil çamı meşcerelerinde ise her iki model de ilk iki simülasyonda TBK karbon stoklarını başarılı bir şekilde tahmin edememiştir. CBM-CFS3'ün tahminleri düşük, FBDC'nin ise yüksektir. Modellerin tahminleri ancak büyüme çarpanları kullanıldıktan sonra ölçülen değerlere yaklaşmıştır. TOK karbon stoklarını tahminde kullanılan modellerin odağı bitkisel kütle olmadığı için tahmin edilen TOK stoklarını ölçülenlere yaklaştırmak için büyüme çarpanı kullanılması sıkça karşılaşılan bir durumdur (Yi ve diğ., 2013; Park ve diğ., 2013; Lee ve diğ., 2016a; Lee ve diğ., 2018). Çalışmamızda büyüme çarpanlarının kullanılarak tahmin edilen TBK karbon stokları ile ölçülenler arasında istatistiksel açıdan fark bulunmamaktadır.

Ölü Örtü Dökümü

TOK modellerinde kullanılan diğer bir girdi ise ölü örtü dökümüdür. Ölü örtü dökümü ormanlarda ağaçların ölen ya da canlıyken rüzgâr, fırtına, ekstrem sıcaklıklar ya da zararlılar gibi nedenlerle canlı iken kırılarak bileşenlerinin (yaprak/ibre, dal, kabuk, kozalak, çiçek, tomurcuk vb.) dökülmesi ve toprak üzerindeki ölü örtüyü oluşturmasıdır (Bray ve Gorham, 1964). Berg ve McClaugherty (2020) bildirdiğine göre orman ekosistemlerinde gerçekleşen ölü örtü dökümü, humus tabakası için en büyük organik madde ve besin kaynağıdır. Ölü örtü birikimi, birikmenin neredeyse tamamının gerçekleştiği noktanın toprak üstü olması sebebi ile topraktaki süreçleri de etkileyen bir durumdur. Ek olarak orman topraklarındaki organik karbon birikiminin önemli bir kısmı ölü örtü ayrışma ürünlerinin toprağa girmesiyle gerçekleşmektedir. Bu sebeple ulusal sera gazı envanterlerini hazırlamak için kullanılan toprak karbonunu tahmin modelleri, yöresel ortalamaları ve türlere özgü ölü örtü ve bitkisel kütle döküm oranlarına ihtiyaç duyabilmektedir (Ťupek ve diğ., 2015).

Sunulan bu çalışmadaki amaçlardan birisi modellerde kullanılan girdilerin yerel olarak üretilmesidir. Yerel olarak üretilebilecek girdiler açısından ölü örtü dökümü ilk sıralarda gelmektedir. Ancak ölü örtü dökümü miktar olarak doğrudan modellere girilmemekte, bunun yerine yıllık olarak dökülen ağaç bileşenlerinin ağaç üzerindeki canlı bileşenlere oranlanmasıyla elde edilen döküm oranları kullanılmaktadır. Çalışmada döküm oranlarının belirlenmesi için öncelikli olarak bir yıl boyunca ölü örtü kapanlarıyla ağaçlardan dökülen bileşenler toplanmıştır. Buna göre yıllık ölü örtü dökümü fıstık çamı meşcerelerinde 5,06 t/ha/yıl ve sahil çamı meşcerelerinde 5,75 t/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Bu toplam ölü örtü dökümünün önemli bir kısmını ibreler oluşturmaktadır. Yıllık ibre dökümü fıstık çamı meşcerelerinde 3,87 t/ha/yıl ve sahil çamı meşcerelerinde 4,24 t/ha/yıl olarak ölçülmüştür (Tablo 4.5 ve Tablo 4.6). Her iki türe özgü ölü örtü dökümünün belirlendiği çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bunlardan birisinde Rapp ve Cabanettes (1981) çalışma yaptığı fıstık çamı meşceresinde toplam ölü örtü dökümünü 6,1 t/ha/yıl olarak belirlemiş fakat bu değerin literatüre göre yüksek bir değer olduğunu vurgulamıştır. Arianoutsou ve Radea (2000), çeşitli araştırmacılara atfen, Fransa, İspanya ve Lübnan'daki çeşitli yetişme ortamlarında bulunan fıstık çamı meşcerelerinin sırasıyla 7,9 t/ha, 2,4 t/ha ve 4,0 t/ha yıllık ölü örtü birikimine sahip olduğunu gözlemlemiştir. García-Plé ve diğ. (1995), çeşitli araştırmacılara atfen fıstık çamlarında toplam ölü örtü dökümünün 4,0-7,82 t/ha/yıl arasında değişebileceğini belirtmiştir. Buna karşılık Regina (2001) tarafından yapılan başka bir araştırmada İspanya'daki fıstık çamı

ormanlarında toplam ölü örtü dökümünün 2,9 t/ha/yıl olduğu ve bunun 2,5 t/ha/yıl kadarının ibrelerden oluştuğu ifade edilmektedir. Aynı çalışmada dal dökümü 0,02 t/ha/yıl, kabuk dökümü ise 0,35 t/ha/yıl olarak ölçülmüştür.

Roig ve diğ. (2005) tarafından İspanya'da farklı aralamaların uygulandığı sahil çamı meşcerelerinde 10 yıl süreyle ibre dökümü incelenmiştir. İbre dökümünün aralama şiddetine göre 1,5 t/ha/yıl ile 5,7 t/ha/yıl arasında değiştiği çalışmada ortalama ibre dökümü 3,3 t/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Çalışmada ibre dökümünün yıllara göre de önemli ölçüde değiştiği ortaya konmuştur. Regina (2001) tarafından İspanya'daki sahil çamı meşcerelerindeki toplam ölü örtü dökümü de incelenmiştir. Çalışmada toplam ölü örtü dökülmesi 2,4 t/ha/yıl olarak ölçülmüş olup, bunun 2,3 t/ha/yıl kadarı ibre dökümüdür. Kabuk, dal ve diğer bileşen dökümleri ise sırasıyla 36, 3 ve 5 kg/ha/yıl olarak belirlenmiştir. Kurz ve diğ. (2000) ise Fransa'daki 100 yaşındaki sahil çamı ormanlarında yıllık ibre dökümünü 3,46-3,89 t ha/yıl olarak vermektedir.

Dünya'da ve ülkemizde sahil çamı ve fıstık çamı türleri haricindeki diğer türlerde de ölü örtü dökümü ve bu döküm içindeki bileşenlerin miktarının oldukça değişken olduğu ortaya konmuştur. Örneğin Berg ve McClaugherty (2020) literatürden derledikleri ölü örtü birikim çalışmasında sarıçam, karaçam ve Konkorta çamı (*Pinus contorta* Douglas) çamına yer vermiştir. Araştırma bulgularına göre sarıçam meşcerelerinde 0,70-6,60 t/ha/yıl arasında ibre, 0,01-0,41 t/ha/yıl arasında kozalak ve 0,08-0,47 t/ha/yıl arasında sürgün dökümü gerçekleşmektedir. Karaçam meşcerelerinde bu miktarlar 5,50 t/ha/yıl ibre; 0,06 t/ha/yıl kozalak ve 0,16 t/ha sürgün, Konkorta çamı meşcerelerinde ise 6,50 t/ha/yıl ibre; 0,84 t/ha/yıl kozalak ve 0,54 t/ha/yıl sürgün olarak bildirilmiştir. García-Plé ve diğ. (1995) İspanya'da Halep çamı meşcerelerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında toplam ölü örtü dökümünü ilk yıl 3,44 t/ha/yıl, ikinci yıl ise 2,52 t/ha/yıl olarak bildirmiştir. Dökülen ibrelerin yıllık miktarı 1,93 t/ha/yıl olarak bulunmuştur. Dökülmelerde baskın bitki bileşeni olan ibreleri dallar ve kozalak parçaları takip etmektedir. Çalışmada, çeşitli araştırmacılar atfen Halep çamlarında ölü örtü dökümünün 2,4-8,1 t/ha/yıl arasında değişebildiği eklenmiştir. Ayın türün 15 yaşındaki ağaçlandırma alanlarında Navarro ve diğ. (2013) toplam ölü örtü dökümünü 2,3 t/ha/yıl olarak hesaplamıştır. Dökümler bitki bileşenlerine göre ibrelerde 0,9 t/ha/yıl; dallarda 0,3 t/ha/yıl, kabuk ve kozalaklarda 0,4 t/ha/yıl ve diğer bileşenlerde 1,3 t/ha/yıl olarak belirlenmiştir.

Ülkemizde yapılan bazı çalışmalarda, örneğin karaçam ağaçlandırmalarında, toplam döküm *ab* gelişim çağında 4,8 t/ha/yıl, *b* gelişim çağında 3,6 t/ha/yıl ve *c* gelişim çağında 3,9 ta/ha/yıl

olarak belirlenmiştir (Çakır ve diğ., 2019). Koray ve Tolunay (2020) tarafından ise doğal karaçam ormanlarındaki toplam dökümler 3,4 t/ha/yıl olarak ölçülmüştür. Sündiken Dağlarındaki doğal sarıçam ormanlarında toplam döküm 1,4-4,5 t/ha yıl olarak belirlenmiştir (Çömez ve diğ., 2019).

Durusu kumulu ağaçlandırmalarında her iki ağaç türü için belirlenen yıllık toplam ölü örtü ve bu ölü örtü içindeki bileşenlerin döküm miktarları literatür ile paralellik göstermektedir.

Ağaçlardan dökülen bileşenlerin miktarının canlı kütledeki bileşen miktarına oranlanmasıyla hesaplanan ibre döküm oranları çalışmada fıstık çam ağaçlandırmalarında 0,34 ve sahil çamı ağaçlandırmalarında 0,39 olarak bulunmuştur. Dal döküm oranları ise sırasıyla 0,03 ve 0,11 olarak hesaplanmıştır. Ancak diğer bileşenlere (kozalak, kabuk ve diğer) dair canlı kütledeki miktarlar tespit edilmediğinden bunların döküm oranları belirlenememiştir. Ülkemizde ağaç bileşenlerinin döküm oranlarının hesaplandığı tek bir araştırmaya rastlanmıştır. Koray ve Tolunay (2020) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada yıllık ibre döküm oranının 0,170; dal döküm oranının ise 0,008 olduğu ortaya konmuştur. Sunulan bu çalışmada Kanada'da kullanılan CBM-CFS3 modelinde Atlantik Maritime ekolojik bölgesindeki çam ormanları için varsayılan değer olarak kabul edilen 0,15 ibre döküm oranı ve 0,04 dal döküm oranı Simülasyon 1'de kullanılmıştır. Aynı döküm oranları FBDC modelinde de varsayılan değer olarak modele tanıtılmıştır. Döküm oranlarıyla da ilgili olarak yurt dışında yapılmış çalışma sayısı sınırlıdır. Bunlardan Güney ve Kuzey Finlandiya'da yapılan bir araştırmada sarıçamlardaki yıllık ibre döküm oranı sırasıyla 0,21 ve 0,10 olarak tespit edilmiştir (Muukkonen, 2005). Yine Finlandiya'nın kuzeyi ve güneyi için sarıçamdaki döküm oranlarının hesaplandığı diğer bir araştırmada bu oran Güney Finlandiya için 0,278 ve Güney Finlandiya için 0,213 olarak bulunmuştur (Ťupek ve diğ., 2015). Liski ve diğ. (2002) ise yaptıkları bir araştırmada ibrelerin beş yıllık ömürleri olduğundan hareketle ibre döküm oranını 0,2 olarak kabul etmişlerdir. Görüldüğü üzere çalışma alanında hesaplanan ibre dökümleri sıralanan araştırmalarda hesaplanan ya da tahmin edilen ibre döküm oranlarından yüksektir. Ölü örtü dökümü meşcere yaşı, kapalılık, sıklık gibi çeşitli meşcere özellikleriyle yöredeki klimatolojik ve meteorolojik özelliklere göre de değişebilmektedir. Örneğin kuraklık ya da şiddetli rüzgârlar ölü örtü dökümünü arttırmaktadır. Çeşitli zararlılar da ölü örtü dökümünün çoğalmasına yol açabilmektedir. Blanco ve diğ. (2006) İspanya'daki sarıçam ormanlarında ibre dökümü ile hava sıcaklığı, kuru gün sayısı ve toprak sıcaklığı arasında pozitif ilişki olduğunu raporlamaktadır. Roig ve diğ. (2005) tarafından da İspanya'daki bir sahil çamı ormanında döküm ile nem açığı

arasında pozitif ilişki bulmuştur. Çalışma alanında ölü örtü dökümü ve meteorolojik parametreler arasında ilişki aranmamıştır. Ancak kumul ağaçlandırmalarında çalışıldığı için toprak neminin yaz aylarında düşük olması olasılığı oldukça yüksektir. Diğer yandan kıyı kumulu olan çalışma alanında hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeydoğudur ve bu rüzgarlar zaman zaman oldukça şiddetli olabilmektedir. Ağaçlandırılmadan önce kumulun hareket etmesinin nedeni de bu şiddetli rüzgarlardır. Bu şiddetli rüzgarların ve yukarıda açıklanan sebeplerle kumulda su stresinin yüksek olmasının etkisiyle ibre dökümünün fazla olduğu düşünülmektedir. Çalışmada fıstık çamı için 0,03 ve sahil çamı için 0,11 olarak belirlenen dal döküm oranları da yüksektir. Örneğin Koray ve Tolunay (2020) Eskişehir'deki bir karaçam ormanında dal döküm oranını 0,008 olarak vermektedir. Çalışmada kullanılan CBM-CFS3 modelinde bu oran 0,04 olarak kabul edilmiştir. Dal döküm oranının da şiddetli rüzgarlar nedeniyle yüksek olabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrışma

Ağaçların dökülen bileşenleri ya da ölen değişik çaplardaki köklerin ekosisteme girişi kadar bunların ayrışma hızları da TOK stoklarını etkilemektedir ve bu bileşenlerin ayrışma hızlarının ortaya konması için kullanılan k katsayıları da modellerin önemli bir girdisidir.

Çalışmada ibrelerin bir yıllık ayrışma (k) oranları fıstık çamı ağaçlandırmalarında 0,42 sahil çamı ağaçlandırmalarında ise 0,45 olarak belirlenmiştir. İncelenen ağaç türlerinin ibre ayrışma oranları ile ilgili ülkemizde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Diğer ağaç türlerinde yapılan bazı araştırmalarda ibre ayrışma oranları belirlenmiştir. Örneğin Sarıyıldız ve Küçük (2008) tarafından Artvin'de yapılan bir çalışmada sarıçam farklı bakı ve eğimlerdeki sarıçam ormanlarında k katsayıları 0,362-0,472 arasında bulunmuştur. Çömez ve diğ. (2021) tarafından Sündiken Dağlarındaki sarıçam ormanlarındaki sarıçam ormanlarında kapalılığın ve meşcere yaşının ölü örtü ayrışmasına etkileri incelenmiş ve çok yaşlı ve sık meşcerelerde k katsayısının düşük, buna karşılık genç meşcerelerde yüksek olduğu belirlenmiştir. Yine Kastamonu'da sarıçam türünde yapılan ölü örtü ayrışma çalışmasında k katsayısı 0,429 olarak hesaplanmıştır (Enez ve diğ., 2015). Çankırı'daki karaçam ağaçlandırmalarında gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise bir yıllık bir ayrışma denemesinden sonra ibrelerin ayrışma katsayısı 0,27-0,36 arasında bulunmuştur (Çakır ve diğ., 2019).

Çalışma alanında yurtdışında yapılan çalışmalar da sınırlıdır. Bunlardan Regina (2001) tarafından ibre ayrışması her iki tür için de 0,35 olarak verilmiştir. Sahil çamı ve fıstık çamı

özelinde diğer bazı çalışmalarda ayrışma katsayıları daha düşük belirlenmiştir. Örneğin Arianoutsou ve Radea (2000), Rapp (1984)'ün Fransa'da fıstık çamı türü ibrelerinin ayrışma katsayısını 0,19 olarak bulduğunu açıklamaktadır. Fioretto ve diğ. (1998) Güney İtalya'da aynı tür için ilk yıl 0,04; ikinci yıl ise 0,26 olmak üzere ortalama *k* katsayısının 0,08 olarak saptandığını söylemektedir. Sahil çamında bu katsayıyı Moro ve Domingo (2000) İspanya'da 0,130, Kurz ve diğ., (2000) Fransa'da 0,135-0,180 olarak vermektedir.

Durusu kumul ağaçlandırmalarında fıstık çamı meşcerelerinde ortalama ayrışma oranları (k katsayıları) kılcal köklerde 0,46; ince köklerde 0,36; kalın köklerde 0,24 ve kök kütüklerinde 0,20 olarak bulunmuştur. Sahil çamlarında bu oranlar kılcal köklerde 0,36; ince köklerde 0,34; kalın köklerde 0,22 ve kök kütüklerinde 0,10'dir. Fıstık çamı ve sahil çamı köklerinin ayrışmasına dair bir literatüre rastlanmamıştır. Ancak Silver ve Miya (2001) çeşitli türlere ait 175 adet kök ayrışma sabiti (*k* oranı) ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. İbreli türlerin bulunduğu örnek alanlarda kılcal köklerin *k* değeri 0,17±0,02 olarak bildirilmiştir. Tüm çap sınıfları ile incelendiğinde bu değer 0,30±0,02'dir.

Bu çalışmada her iki tür için belirlenen ibre ve ince kök ayrışma katsayıları aynı türlerde yurt dışında yapılmış sınırlı sayıdaki çalışmaya göre yüksektir. Buna karşılık ülkemizde diğer türlerde yapılmış çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Çalışma alanı kumul olduğu ve toprak neminin düşük olması nedeniyle ayrışma katsayılarının daha düşük olması beklenir. Ancak ayrışma denemelerinin sadece tek yıl sürmesi yıllar arasındaki sıcaklık ve yağış değişikliklerinin etkilerinin ortaya konulamamasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Diğer yandan ayrışmayı kontrol eden ağaç bileşenlerinin kimyasal içeriği ve mikroorganizma faaliyetleri de ayrışmanın hızlı ya da yavaş olması üzerinde etkilidir. Özellikle model çalışmalarında kullanılacak ayrışma katsayılarının belirlenmesinde çalışmaların farklı yılları da kapsayacak şekilde gerçekleştirilmesinde yarar bulunmaktadır. Silver ve Miya (2001)'e göre kök ayrışmasını kontrol eden faktörlerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılması, küresel karbon dinamiklerini modelleme ve dolayısıyla gelecekteki iklim ve diğer küresel değişikliklerin biyojeokimyasal döngüler üzerindeki etkilerinin tahmin edilebilirliği açısından önemlidir.

Modeller

Orman ekosistemlerinde gerçekleştirilen çalışmalar, araştırma alanını temsil ettiği düşünülen örnek alanlarda yapılan ölçümler ve örneklemeler ile yürütülmektedir. Bu çalışma, Durusu ağaçlandırma alanlarında bulunan fıstık çamı ve sahil çamı meşcerelerinin 3 farklı meşcere

tipinin her birinden 7 tekrarlı bir örnekleme düzeni ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, CBM-CFS3 ve FBDC modellerinin bu alanlardaki TOK miktarlarının tahmininde kullanılabilirliğinin incelenmesidir.

Çoğu model gibi çalışmada test edilen her iki modele bazı verilerin girdi olarak tanıtılması gerekmektedir. Çalışma alanı ya da bölgesine özgü girdiler olması halinde bunların kullanılması olmaması halinde ise modellerde verilen varsayılan değerlerin ya da başka bölgelerde hatta ağaç türlerinde gerçekleştirilen çalışmalarla üretilen katsayılar ve parametrelerin modelleme çalışmalarında oldukça yaygındır. Çalışmada öncelikle varsayılan değerlerin kullanıldığı, sonrasında ise çalışma alanına özgü girdilerin kullanıldığı 4 farklı simülasyon test edilmiştir. Bu simülasyonlar hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

CBM-CFS3 ve FBDC modellerine girdi olarak varsayılan değerlerin tanıtıldığı Simülasyon 1, başta Kanada ekosistemleri olmak üzere birçok mekânsal kabulü içermektedir. Varsayılan değerlerin hâricinde bu simülasyonda yalnızca simülasyon başlangıcı için 3,49 t C/ha'lık TOK miktarı ve alana özgü meşcere yaşına bağlı olarak geliştirilen hacim eğrilerine yer verilmiştir. Simülasyonda kullanılan varsayılan değerler arasında Kanada ekosistemlerine uygun bitkisel kütle genişletme faktörleri ile ölü örtü dökülme ve ayrışma oranları bulunmaktadır.

Simülasyon 2'de, Tolunay ve diğ. (2017) ve bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda geliştirilen yerel katsayılar ile TOK tahminleri elde edilmiştir. Bu noktada belirtilmesi gereken bir husus, bu model girdileri arasında yer alan dökülme ve ayrışma verilerinin zamansal aralığıdır. Çalışma alanından elde edilen ölü örtü dökülme verileri, örnek alanlarda kurulan kapanlar ile toplanmış ve bir yıllık döküm verisi kullanılmıştır. İbre ve dal dökülme oranlarına da bu 1 yıllık veri ve Tolunay ve diğ. (2017)'den elde edilen bu iki ağaç bileşeninin ağaç üzerindeki miktarlarından ulaşılmıştır. Benzer şekilde, ayrışma verilerine de 1 yıllık arazi inkübasyonu sonucunda erişilmiştir. Dolayısıyla, uzun dönemli izlemelere dayalı bir dökülme ve ayrışma verisi kullanılamamıştır. Literatürde ölü örtünün dökülme ve ayrışmasına ait verilerin bir yıldan daha fazla sürdürülmesi önerilmektedir (Burton ve Pregitzer, 2008; Koray ve Tolunay, 2020).

CBM-CFS3 modeli ağaç bileşenlerine ait bitkisel kütle miktar ve oranlarını Boudewyn yaklaşımı ile hesaplamaktadır. Yaklaşımın oluşturulmasında kullanılan veri tabanı tamamıyla Kanada ekosistemlerinde elde edilen çalışmalardan oluşturulsa da veri dağılımında uyumsuzlukların olduğu bildirilmiştir (Boudewyn ve diğ., 2007). Daha önemli bir nokta ise,

yaklaşımın hesaplama yöntemlerinin yalnızca y=axb ya da y=k+axb biçimdeki üstel denklemlere uygun katsayıları içermesidir. Bileşen oranlarının tahmin edilmesine yarayan denklemler ise çeşitli sebepler ile geliştirilmesi zor katsayılara sahiptir. Tolunay ve diğ. (2017)'de Durusu yöresinde kullanılması tavsiye edilen denklem tipleri ve istatistiki değerlendirmeleri mevcuttur. Fakat bu katsayılar CBM-CFS3 modelinde, modelin sabit yapısı sebebi ile kullanılamamıştır. FBDC modelinin açık kaynaklı olması sayesinde ağaç türlerine ait hacim ve bitkisel kütleyi tahmin etme katsayıları daha esnek bir şekilde modele tanıtılabilmiştir.

Çalışmada büyüme çarpanları simülasyon 3 ve 4'te kullanılmıştır. CBM-CFS3 modelinde büyüme çarpanları toplam bitkisel kütlenin hesaplanması ardından uygulanmaktadır. Yapısal olarak FBDC modelinde ise büyüme çarpanı, modele tanıtılan herhangi bir havuza uygulanabilmektedir. Orman ekosistemlerindeki toprak organik karbonunun başlıca kaynağı ölü örtü dökülmesi ve bu materyalin ayrışma olaylarıdır. Beklenildiği üzere her iki modelde de toplam bitkisel kütle tahminleri üzerinde uygulanan büyüme çarpanları yalnızca bu havuzda değil, ölü örtü, ölü odun ve TOK havuzlarında da tahmin değişiklikleri gerçekleşmiştir.

CBM-CFS3 ve FBDC modelleri her iki ağaç türüne ait TOK stoklarını ölçülen değerlerden daha düşük tahmin etmiştir. Büyüme çarpanlarının kullanılması dahi TOK tahminlerini ölçülen değerlere yaklaştırmamıştır. Öncelikle, kullanılan her iki model de geniş ekosistemlerin bulunduğu, bölgesel ölçekte ya da ülke düzeyinde tahminlerin yapılması için kurgulanmış; model parametreleri ve tahmin hesaplamaları bu ölçeklerde kullanıma açılmış modellerdir (Kurz ve diğ., 2009; Yi ve diğ., 2013; Lee ve diğ., 2014; Kull ve diğ., 2019). Modeller geliştirildikleri Kanada ve Kore Cumhuriyeti dışındaki ülkelerde kullanılmaktadır. Örneğin CBM-CFS3 Rusya'da (Zamolodchikov ve diğ., 2008), İtalya'da (Pilli ve diğ., 2014) Meksika'da (Olguin ve diğ., 2018) ve Slovenya'da (Jevšenak ve diğ., 2020), FBDC Modeli ise Türkiye'de (Lee ve diğ., 2016a; Lee ve diğ., 2018), Butan'da (Lee ve diğ., 2016b) ve Brunei'de (Lee ve diğ., 2017) TOK stoklarını tahminde kullanılmıştır.

Lokal çalışmalarda arazide ölçülen ve modellerin tahmin ettiği değerleri karşılaştırıldığı araştırmalar da bulunmaktadır. Fakat modellerin lokal ölçekte kullanımları diğer bölge ve ülke ölçeği yanında eksiktir (Yi ve diğ., 2013). CBM-CF3 modeli ile lokal ölçekte çalışan Chen ve diğ. (2013) ile Metsaranta ve Kurz (2012), FBDC modeli ile çalışan Lee ve diğ. (2013) modellerin ölçülen değerlere yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Ancak Skrivanos (2012) Kanada'da bir su havzasında yaptığı çalışmada CBM-CFS3 modelinin ölçülen karbon

stoklarını tahminde yetersiz kaldığını, bu durumun modelin kullandığı hacim verilerinin (yaşa bağlı kabuksuz ticari gövde odunu hacmi) ortalamasını kullandığını, ölçülen hacim verilerinin ise meşcereye özgü olmasından kaynaklandığını ifade etmektedirler. Heffner ve diğ. (2021)'de yine Kanada'da 3.250 sabit örnek alanda toprak haricindeki edilen havuzların ölçülen ve CBM-CFS3 modeliyle tahmin karbon stoklarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın amacının karbon tahmin etme modellerinin kıyaslanması olmasa da sabit örnek alanlarda gerçekleştirilen denklemlerle üretilen denklemlerle hesaplanan karbon stokları ile modelin tahmin ettikleri arasında fark olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durumu CBM-CFS3 modelinde hacim verilerinin yaşa bağlı olarak girilmesine, ancak ormanların aktüel durumunun aynı yaşlı orman karakterinde olmayabileceğine dayandırmışlardır. Ayrıca sabit örnek alanlarda tür kompozisyonun değişebildiği, CBM-CFS3 modelinde yaşa bağlı kabuksuz ticari gövde odunu hacmi verilerinin asli ağaç türü için girilebildiğine değinmektedirler. Çalışmamızda CBM-CFS3 modelinde Pehlivan (2007) tarafından üretilen çalışma alanına özgü yaşa bağlı kabuklu gövde odunu verilerinden yararlanılmıştır. Ancak modelin yapısı gereği bu hacim verilerinin kabuksuz gövde odunu ticari kütlesine dönüştürülmesi gerekmiştir. Her ne kadar çalışmada yöreye özgü hacim verileri kullanılsa da kumul ağaçlandırmalarında ağaç türlerinin gelişimleri homojen değildir. Başka bir ifadeyle aynı yaşlarda karbon havuzlarında çok farklı karbon stokları bulunabilmektedir. Bu durum kumulun homejen yetişme ortamı koşullarına sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin kumul tepelerinin sırtlarında ve gevşek kumullarda yapılan ağaçlandırmalarda ağaçların gelişmesi daha kötüdür. Buna karşılık nispeten düz ve çukur alanlardaki meşcereler ile kumlar arasındaki gözeneklerin daha küçük olduğu, dolayısıyla su tutuma kapasitesinin daha yüksek olduğu alanlarda ağaç gelişimleri daha iyidir (Tolunay ve diğ., 2017).

Diğer yandan çalışma alanında geçmiş yıllarda uygulanan silvikültürel müdahalelere dair de kayıt bulunamamıştır. Bu nedenle birim alandaki ağaç sayıları da oldukça değişkenlik göstermektedir. Ağaç sayısının örnek alanlara göre değişmesindeki diğer bir etken de farklı yıllarda farklı dikim aralıklarıyla ağaçlandırma yapılmış olmasıdır. Değişen ağaç sayıları meşcerelerin öncelikle hacim ve bitkisel kütle miktarlarını etkilemekte ve buna bağlı olarak da ölü örtü döküm miktarları değişmektedir. Benzer şekilde kesim artıklarının silvikültürel müdahale yapılan alanda bırakılması ölü örtü ve ölü odun stoklarının dolayısıyla TOK havuzundaki karbon stoklarının artmasına neden olabilmektedir. Ülkemizde kesim artıklarının bir kısmı özellikle çapı 4 cm'den büyük olan kalın dallar da yakacak odun olarak

kullanılabilmekte ya da orman köylüleri tarafından toplanabilmektedir. TOK stoklarını etkileyen diğer bir unsur da ormanın geçmişinde yangın, böcek zararı ve devrikler gibi meşcere hacmini ve ölü örtü ile ölü odun miktarını etkileyebilecek faktörlerdir. Çalışma alanında önceki yıllarda yangın olmadığı bilinmektedir. Silvikültürel müdahalelelere benzer şekilde devrikler ya da böcek zararlarına dair kayıtlar da bulunmamaktadır.

Çalışma alanına özgü üretilen dökülme ve ayrışma oranları sadece bir yıllık çalışma ile elde edilmiştir. Bunlar yıldan yıla değişen meteorolojik koşullara (yağış, sıcaklık, rüzgar vb.), bileşenlerin C, N ve diğer besin maddesi içeriklerine, meşcerelerin kapalılığına ve silvikültürel müdahalelere göre değişebilmektedir. Bu nedenle modellere tanıtılan ölü örtü dökümü ve ayrışma katsayılarının uzun süreli gözlemler ile belirlenmesi yerinde olacaktır.

Özetlenecek olursa, yetişme ortamı koşulları, ağaçlandırma çalışmalarındaki düzensizlikler ve alanların silvikültürel bakım geçmişindeki belirsizliklerin de kullanılan iki modele ait çıktılarına yansıdığı düşünülmektedir. Nitekim literatürde geniş ölçekte kullanılmaya uygun modellerin düşük ölçekli uygulamalarda tahmin açısından yöresel yanlılıklara (*bias*) sahip olabildiği açıklanmaktadır (Bernier ve diğ., 2010). Bu nedenle orman ekosistemlerinde modellerle gerçeğe yakın tahminlerin elde edilmesinin veya modellerin tahmin başarısının model girdilerinin mevcudiyetine ve kalitesine bağlı olduğu ifade edilmektedir.(Heffner ve diğ., 2021).

Ülkemiz sera gazları ulusal envanterinde orman karbon stoklarındaki değişim sadece bitkisel kütle için hesaplanmakta, ölü örtü, ölü odun ve TOK havuzlarındaki değişimler yansıtılamamaktadır. Pehlivan (2017) AB Destekli ve yararlanıcısının Çevre ve Şehircilik Bakanlığının olduğu "Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık Sektöründe Gelişmiş Analitik Temelin Güçlendirilmesine Yönelik Teknik Destek" projesinde hem ormanlar hem de diğer arazi kullanımlarındaki karbon stoklarının belirlenmesinde modellerden yararlanılmasının planlandığını, düşünülen modellerin ise CBM-CFS3 ve EX-ACT olduğunu ifade etmektedir. Proje 2019 yılında tamamlanmış ve proje çıktıları 2020 yılından itibaren sera gazları ulusal envanterinde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak envanterde yapılan incelemede model kullanımına geçilemediği ve halen sadece bitkisel kütledeki karbon stok değişimlerinin hesaplandığı görülmüştür (TÜİK, 2022).

TOK stok değişimlerini tahmin eden modellerin ihtiyaç duyduğu girdiler dikkate alındığında ülkemizde modelleme çalışması için yeterli veri olmadığı değerlendirilmektedir. Ülkemizde

asli ağaç türlerinin yaşa bağlı hacim verileri ya da bu verilerin alınabileceği hasılat tabloları bulunmaktadır. Ancak bu hasılat verileri bazı türler için oldukça eskidir. Pehlivan (2017) bu hasılat tablolarının geçerli olduğu kapalı ve müdahale görmemiş ormanların neredeyse kalmadığını ifade ederek geçerliliğini sorgulamaktadır. Diğer yandan çalışmada test edilen iki model ve diğer modeller aynı yaşlı ormanlarda kullanılmaktadır. Ülkemiz ormanlarının çoğu aynı yaşlı değildir. Aynı yaşlı işletilmeye çalışılan ormanlarda da silvikültürel müdahaleler ve yetişme ortamı farklılıkları nedeniyle aynı yaşlı orman özelliklerini yitirdikleri açıklanmaktadır (Pehlivan, 2017). Çalışma alanımızda incelenen fıstık çamı ve sahil çamı ağaçlandırmaları için de bu durum geçerlidir.

Modelleme çalışmalarında henüz yeterli verinin var olmadığı ya da oluşturulmadığı durumlarda kısa vadede mevcut modellerini uygulamak için gerekli girdi verilerinin üretilmesi ve uzun vadede bağımsız bir model geliştirmek için sürekli bir veri araştırma sistemine sahip olunması tavsiye edilmektedir (Lee ve diğ., 2010). Bu süreç yalnızca arazide değil, literatür araştırması ile de desteklenmelidir. Yöre ya da bölgeye, hatta ülkeye uygun bir modelin geliştirilmesi ile başka ekosistemler için kurgulanmış, kalibre edilmiş, denenmiş modellere olan varsayım ve girdi tipi gibi bağımlılıkların önüne geçecektir. Araştırmada kullanılan FBDC modelinin çıkış noktası da yukarıda bahsedildiği üzere bu durumdan ibarettir. Yurtdışı kaynaklı modellerin girdi tiplerinin Kore şartlarında bulunmaması ya da parametre sayısının değişkenliği; modellerin simülasyon kabiliyeti ve yöresel düzeltmelerin modelin uygulandığı alanlardaki imkanı ülkeye özgü bir model kurgusunda araştırmacıların önceliklerini oluşturmaktadır. Bu amaçla Kore'de FBDC modelinin oluşturulması öncesinde arasında CBM-CFS3 modelinin olduğu çeşitli modeller incelenmiş ve ülkenin veri niteliği ve kalitesine en uygun model seçilmeye çalışılmıştır (Lee ve diğ., 2010).

CBM-CFS3 ve FBDC modelleri arasındaki en belirgin fark iki modelin kullanıcıya sunduğu esnekliktir. R koduna sahip FBDC modeli üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Örneğin model üzerinde yapılabilecek değişiklikler arasında, bitkisel kütlenin tahmin edilebileceği sabit değişkenin tercih edilebilmesidir. Bu değişken meşcerenin yaşı ya da $D_{1,3}$ ortalaması olabileceği gibi, bu araştırmada kullanılan kabuklu gövde odunu hacmi olarak da modele tanıtılabilmektedir. Orman ekosisteminde tahmin edilmek istenen verinin hangi havuzlardan oluşacağı, bu havuzlara etki eden başlıca faktörlerin özellikleri gibi birçok kilit nokta, FBDC modelinde değiştirilebilir konumdadır. Fakat bu değişiklikler detaylı bir denetleme sürecini de beraberinde getirmektedir. FBDC modelinin bir arayüzü olmaması, tüm bu işlemlerin bir kod

bütünü halinde yazılmasını gerektirmektedir. CBM-CFS3 modelinde ise bu durum daha sade ve kullanıcı dostu bir biçimde çözülmüştür. Modelin yapısı bir bütündür. Kullanıcı model tarafından istenen girdileri hiyerarşik bir düzende girebilmekte, simülasyonlarını kurgulayabilmekte ve model çıktılarını tablo ya da grafik olarak inceleyebilmektedir. Ek olarak, CBM-CFS3 modeli, model veri tabanını MS-Access (Microsoft, 2015b) programı ile uyumlu bir biçimde kullanıcısına sunmaktadır. Fakat hem CBM-CFS3 modeli içerisinde hem de ikincil bir ortam olan MS-Access bünyesinde amaca uygun olarak değiştirilen verilerin model tarafından tanınması aşamalarında halen sorunlar yaşanmaktadır.

Yukarıda belirtildiği üzere, CBM-CFS3 modelinin başlıca girdisi, örnek alanlardaki yaşa bağlı olarak geliştirilmiş kabuksuz ticari gövde hacmidir. Bu bileşene ait denklemlerin alanları temsil edecek bir yapıda oluşturulması araştırma alanında gözlemlendiği üzere oldukça zordur. Bu zorlukların başında, yetişme ortamı özelliklerinin getirdiği belirsizlikler kadar alanın yapısı da yer almaktadır. Ülkemizde kabuksuz ticari gövde odunu hacmi verisi üretilmediği için ölçülen kabuklu orman envanterinde kullanılan kabuklu gövde odunu hacmi verilerinin dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşümler belirsizlikleri arttıracağı için FBDC modelinin ülkemizde daha kullanışlı olabileceği değerlendirilmektedir. Nitekim sarıçam ve baltalık meşe ormanlarında test edilen FBDC modelinin tahmin başarısı yüksek bulunmuştur (Lee ve diğ., 2016a; Lee ve diğ., 2018). Ancak CBM-CFS3 modeline göre dünya genelinde daha az kullanılması dezavantajıdır. Diğer yandan ülkemizdeki asli ağaç türlerine dair ölü örtü dökümü ve ağaç bileşenleri ayrışma katsayılarına dair çalışmalar da yetersizdir. Modellerde kullanılan en önemli girdiler olan bu parametrelerin bölgesel ölçekte uzun yıllara dayanan çalışmalarla üretilmesi gerekmektedir.

Çalışmada her iki model de TOK stok tahminleri başarısız kalmıştır. Ancak bu başarısızlığın modellerden çok çalışma alanındaki yetişme ortamı koşullarının değişkenliğinden, uygulanan dikim aralıkları ve düzensiz aralamalar nedeniyle ağaç sayısının örnek alanlar arasındaki farklılığından ve çalışma alanının geçmişindeki devrik ve böcek zararı gibi kayıtların tutulmamış olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Örnek alanların aynı bonitet ve benzer silvikültürel alanlardan oluşması ve ölü örtü dökümüyle ayrışma çalışmalarının uzun yıllar devam ettirilmesi halinde her iki modelin de tahmin başarısının yükseleceği öngörülmektedir. CBM-CFS3 modelinin de ülkemize özgü kabuksuz ticari gövde odunu hacim verileri üretilmesi halinde aynı yaşlı ormanlarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ormancılıkta çeşitli havuzlardaki karbon stoklarını ve bu stoklardaki yıllık değişimleri tahmin etmek giderek önem kazanmaktadır. Modeller, geçmiş ve gelecekteki karbon stoklarını ve stok değişimlerini ortaya koymada oldukça kullanışlıdır. Ayrıca modellerin aralama şiddeti ve zamanı, idaresi süresinin uzatılması ya da kısaltılması gibi çeşitli senaryoların havuzlardaki karbon stoklarını nasıl değiştirdiğini de sayısal olarak tahmin edebilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak yaşa bağlı hacim veya bitkisel kütle verileri, ağaç bileşenlerine ait döküm ve ayrışma oranları gibi girdilere ihtiyaç duyan bu modellerin, havuzlardaki karbon miktarlarını tahmin başarısı bu girdilerin kalitesiyle yakından ilgilidir. Ülkemiz orman ekosistemlerinde karbon havuzlarındaki stok değişimlerinin tahmininde CBM-CFS3, FBDC ya da başka bir modelin kullanılabilmesi için model girdilerine dair veri üretilmesi gerekmektedir. Öncelikle, değişen iklim de göz önüne alınarak, en azından asli ağaç türleri özelinde yaşa bağlı hacim ve bitkisel kütle denklemleri geliştirilmelidir. CBM-CFS3 modelinde kullanılan kabuksuz ticari gövde odunu hacmine dair ülkemizde veri bulunmamaktadır. Mevcut olan bazı hasılat tabloları ve geliştirilmiş yaşa bağlı hacim verileri oldukça eskidir. Bunların geliştirilmesinde bakım görmemiş meşcerelerin temel alınması da ormanların gerçek durumu yansıtmamaktadır. Ülkemizde bölgesel olarak dağılmış olan ormancılık araştırma enstitülerinin sorumluluk bölgelerindeki asli ağaç türleri için bu çalışmaları yapması durumunda bu eksikliğin birkaç yıl içerisinde giderilmesi mümkündür. Bu çalışmalar yapılırken, örneğin CBM-CFS3 modelinde girdi olarak kullanılan kabuksuz ticari gövde odunu hacminin birim alanda yaşa bağlı olarak değişimi de ortaya konulabilir. Yine bitkisel kütle çalışmaları yapılırken ağaç bileşenlerinin dağılım oranlarının belirlenmesi de önem arz etmektedir. Kabuklu ya da kabuksuz gövde hacmi ile bitkisel kütle miktarı ve ağaç bileşenleri oranlarına dair verilerin ormancılık araştırma müdürlükleri tarafından üretilmesi aynı zamanda farklı coğrafi bölgelere yayılmış olan ağaç türlerine dair bölgesel verilerin üretilmesini de sağlayacaktır.

Modellerin diğer önemli girdileri, ağaç bileşenlerinin döküm miktarları ve oranları ile bunların ayrışma oranlarıdır. Özellikle kılcal kökler de dahil olmak üzere değişik çaplardaki köklerin miktarı, bunların ölerek toprağa girişi ve ayrışma oranları ile ilgili çalışmalar ülkemizde oldukça yetersizdir. Bu nedenle ölü örtü dökümü, kök ölümü ve bunların ayrışma hızları ile

ilgili çalışmaların arttırılması gerekmektedir. Bu araştırmaların uzun yıllara yayılarak dökülme ve ayrışmayı etkileyen farklı iklim koşullarında yapılması veri kalitesi bakımından modelleme ve diğer akademik araştırmalar için daha uygun olacaktır.

Ülkemizde sabit örnek alanlarda gerçekleştirilen araştırmalar da eksiktir. Sabit örnek alanlarda üretilecek hacim ve bitkisel kütle artımı ile toprak organik karbon stoklarındaki zamansal değişime ait veriler, modellerin doğrulanması ve kalibrasyonunda da kullanılabilecektir. Bu noktada, model çalışmalarında gerekli bir diğer veri de topraklardaki organik karbon stoklarıdır. Çünkü modellerde başlangıç değeri olarak belli bir zamandaki TOK stok değerinin girilmesi gereklidir. Ne yazık ki ülkemizde derinlik, taşlılık, toprak türü, karbon ve diğer besin maddelerini gösteren tematik haritalar bulunmamaktadır. Orman topraklarına dair çalışmalar oldukça lokaldir. Uzun yıllardır tematik toprak haritalarının gerekliliği dile getirilse de bu konuda atılmış adımlar bulunmamaktadır.

Model girdilerinin üretilmesinde orman fakülteleri de katkı sağlayabilir. Orman Genel Müdürlüğünün yüksek lisans ve doktora tezlerini desteklemesi durumunda, veri üretim süreci hızlanacaktır. Ancak bu noktada karşılaştırılabilir veri üretimi için ortak metodoloji içeren örnekleme rehberi hazırlanmasında da yarar vardır.

Bilindiği üzere çalışmada test edilen CBM-CFS3 modelinin geliştirildiği Kanada'da gerek hacim verileri gerekse ayrışma ve döküm oranları ekolojik bölgelere göre ayrı ayrı hesaplanmış ve bir veri tabanında toplanmıştır. Yukarıda değinilen veriler üretildikten sonra benzeri bir veri tabanının ülkemizde oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

Ülkemizde aynı yaşlı orman işletmeciliğinde sorunlar bulunmaktadır. Silvikültürel müdahalelerdeki hatalar ya da ormanlar üzerindeki baskılar nedeniyle teorik olarak yaş sınıflarına göre işletilmesi gereken ormanlar, pratikte çap sınıflarıyla işletilen ormanlara dönüşmüştür. TOK modelleri aynı yaşlı ormanlar için geliştirildiği için aynı çapta, dolayısıyla benzer artım ve ağaç serveti miktarına sahip meşcerelere uygunken ancak farklı yaşlardaki ormanlarda çalışmamaktadır. Bu nedenle ormanlarımızın ülke düzeyinde karbon havuzlarındaki stok değişimlerinin belirlenmesi isteniyorsa, başta kızılçam, karaçam ve sarıçam gibi türlerde olmak üzere meşcere kuruluşunu aynı yaşlı hale getirmeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak TOK tahmin modellerinin ülkemiz ormanlarında kullanım olanağı şimdilik aynı yaşlı ormanlarda söz konusudur. Tahminlerin başarısı, modellerin ihtiyaç duyduğu veri kalitesine göre değişecektir. Ülke düzeyinde ise modellerin kullanım olanaklarının yukarıda sıralanan eksiklikler nedeniyle yakın zamanda mümkün olmadığı değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

Abdalmoula M.M., Makineci E., Özturna A.G., Pehlivan S., Şahin A., Tolunay D., 2019, Soil organic carbon accumulation and several physicochemical soil properties under stone pine and maritime pine plantations in coastal dune, Durusu-Istanbul, *Environmental Monitoring And Assessment*, 191, 5.

Agrawala, S., 1998, Context and Early Origins of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climatic Change*, 39, 605-620, https://doi.org/10.1023/A:1005315532386.

Allen, M.R., Dube, O.P., Solecki W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., Wairiu, M., Zickfeld, K., 2018, *Framing and Context*, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., Waterfield T. (ed.), Chapter 1, Cambridge University Press, Cambridge, Birleşik Krallık ve New York, ABD, 49-92. https://doi.org/10.1017/9781009157940.003.

Alphan, H., 1998, *Yumurtalık Dalyan Çamlığı Tabiatı Koruma Alanı'nın Yönetim Planlaması İçin Bir Veri Bankası Oluşturulması*, Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Adana.

Anonim. 1967. *İstanbul - Terkos Gölü Kumul Tespiti Planlama Raporu*, Orman Genel Müdürlüğü ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Arianoutsou, M., Radea, C., 2000, *Litter Production and Decomposition in Pinus halepensis Forests*, Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, In: Ne'eman, G., Tvabaud, L. (ed.), Backhuys Publishers, Leiden, Hollanda, 183-190.

Atay, İ., 1964, *Türkiyede Sahil Kumulların Tesbiti ve Ağaçlandırılması Üzerine Araştırmalar*, T.C. Tarım Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, İstanbul.

Atay, İ., 1972, *Kumulların Tesbiti ve Ağaçlandırılması Tekniği*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Atay, İ., 1985, Akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) Nın Önemi ve Silvikültürel Özellikleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 35 (B1), 22-31.

Atmaca F., Yılmaz K.T., 2006, Turan Emeksiz Kıyı Kumul Ağaçlandırmasının Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi, *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü DOA Dergisi*, 12, 76-94.

Avcı, M., 2005, Çeşitlilik ve Endemizm Açısından Türkiye'nin Bitki Örtüsü. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13, 27-55. Elektronik Nüsha No: 1305-2128.

Avcı, M., Avcı S., 2001, Limanların Kıyı Alanları Üzerindeki Etkilerine Bir Örnek: Filyos Limanı Projesi, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları III. Ulusal Konferansı (26 - 29 Haziran 2001) Bildiriler Kitabı*, 26 - 29 Haziran 2001 İstanbul, Ankara, Kıyı Alanları Yönetimi Türkiye Milli Komitesi.

Avcı, M., Avcı, S., Akkurt, S., 2015, Coastal Dune Vegetation in Turkey: A Geographical Perspective, *Proceedings of the Twelfth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment MEDCOST 2015*, 06-10 October 2015 Varna, Bulgaria, 397-405.

Baylan, E., Karadeniz N., 2006, Terkos Gölü (İstanbul) Örneğinde Doğal ve Kültürel Çevrenin Korunması ve Geliştirilmesi Üzerine Bir Araştırma, *Tarım Bilimleri Dergisi*,12 (2), 151-161.

Berberoğlu, S., Alperhan H., Yılmaz, K.T., 2003, A Remote Sensing Approach for Detecting Agricultural Encroachment on the Eastern Mediterranean Coastal Dunes of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 135-144.

Berg, B., McClaugherty, C., 2020, *Plant Litter - Decomposition, Humus Formation*, Carbon Sequestration (4. Baskı), Springer, İsviçre, 1-12.

Bernier P., Hanson, P.J., Curtis, P.S., 2008, *Measuring Litterfall and Branchfall*, Field Measurements for Forest Carbon Monitoring - A Landscape-Scale Approach, In: Hoover C.M. (ed.), Chapter 7, Springer. Durham, NH, ABD, 91-101.

Bernier, P.Y., Guindon, L., Kurz, W.A., Stinson, G., 2010, Reconstructing and Modelling 71 Years of Forest Growth in a Canadian Boreal Landscape - A Test of the CBM-CFS3 Carbon Accounting Model, *Canadian Journal of Forest Research*, 40, 109-118.

Beşkök T.E., 1966, *Trakya Bölgesinde Rüzgar Zararlarını Önlemek Maksadıyla Yapılacak Ağaçlandırmalar Hakkında Ön Etüd Raporu*, Muhtelif Yayınlar Serisi 25, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.

Beşkök T. E., Kayın N., 1966. Kumulların Tesbiti ve Rüzgar Perdeleri Semineri Hakkında Rapor. Muhtelif Yayınlar Serisi 16, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.

Blanco, J.A., Imbert, J.B., Castillo, F.J., Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees, *Forest Ecology and Management*, 237, 342-352.

Blume H.-P., Brümmer G.W., Fleige H., Horn R., Kandeler E., Kögel-Knabner I., Kretzschmar R., Stahr K., Wilke B.-M., 2016, *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*, Springer, Berlin, Almanya.

BMİDÇS, 1992, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf, [Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2022].

Boudewyn, P., Song, X., Magnussen, S., & Gillis, M.D., 2007, *Model-based, volume-to-biomass conversion for forested and vegetated land in Canada*, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, Kanada.

Boyraz D., Cangir, C., 2009, Yıldız Orman Ekosisteminde Yer Alan Tipik Toprakların Sınıflandırılması ve Amenajmanları, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 65-77.

Bray, J.R., Gorham, E., 1964, Litter production in forests of the world, *Advances in Ecological Research*, 2: 101-157.

Burton, A.J., Pregitzer, K.S., 2008, *Measuring Forest Floor, Mineral Soil*, and Root Carbon Stocks, Field Measurements for Forest Carbon Monitoring - A Landscape-Scale Approach, In: Hoover C.M. (ed.), Chapter 10, Springer. Durham, NH, ABD, 129-142.

Büyükyıldırım, L., 1961, *Eksibelerimiz, Önemi ve 1955 Yılında Manavgatın Side-Sorkun Eksibesinde Yapılan Deneme Mahiyetinde Ağaçlandırmalar*, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Muhtelif Yayınlar Serisi 7, Ankara.

Byfield, A.J. ve Özhatay, N. 1995. *Türkiye'nin Kuzey Kumullarının Korunmasına Yönelik Rapor: Türkiye'nin Karadeniz, Marmara ve Kuzey Ege Sahillerinde Sürdürülen Bir Botanik Çalışma ve Doğa Koruma Önerileri*. İstanbul: Doğal Hayatı Koruma Derneği, Fauna and Flora International.

Chatterjee, A., Lal, R., Wielopolski, L., Martin, M.Z., Ebringer, M.H., 2009, Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(3):164-178. DOI:10.1080/07352680902776556

Chen, B., Arain, M.A., Khomik, M., Trofymow, J.A., Grant, R.F., Kurz, W.A., Yeluripati, J., Wang, Z., 2013, Evaluating the impacts of climate variability and disturbance regimes on the historic carbon budget of a forest landscape, *Agricultural and Forest Meteorology*, 180, 265-280.

Chertov, O.G., Komarov, A.S., Nadporozhskaya, M., Bykhovets, S.S., Zudin, S.L., 2001, ROMUL - A Model of Forest Soil Organic Matter Dynamics as a Substantial Tool for Forest Ecosystem Modeling, Ecollogical Modelling, 138, 289-308.

Coleman, K., Jenkinson, D.S., 1996, *RothC-26.3 - A Model for the Turnover of Carbon in Soil*, In: Powlson, D.S., Smith, P., Smith, J.U. (ed.), Evaluation of Soil Organic Matter Models, Using Existing Long-Term Datasets, Springer-Verlag, Heidelberg, 237-246.

Cotfuro, M.E., Miller, M., Zeller, B., 2000, Litter Decomposition, Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems, In: E.-D. Schulze (Ed.), Chapter 13, Ecological Studies, Vol. 142, Springer, Almanya.

Currie,W.S., Aber, J.D., 1997, Modeling Leaching as a Decomposition Process in Humid, Montane Forests. *Ecology*, 78, 1844-1860.

Çağırankaya, S.S., Meriç, B.T., 2013, *Türkiye'nin Önemli Sulak Alanları: Ramsar Alanlarımız*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

Çakır, M., Akburak, S., Sargıncı, M., Tunç, T., 2019, *Çankırı Bölgesi Karaçam (Pinus nigra Arnold.) Meşcerelerinde Ölüörtü Ayrışması ile Mikroeklembacaklılar ve Mikrobiyal Aktivitenin Zamansal Değişimi ve Toprağa Verilen Besin Maddeleri. TÜBİTAK 3501 Projesi, Proje Sonuç Raporu, Proje Numarası: 215O572*, Çankırı.

Çelik M.A., Kızılelma Y., Gülersoy A.E., Denizdurduran M., 2013, Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Aşağı Seyhan Ovası Güneyindeki Sulak Alanlarda Meydana Gelen Değişimin İncelenmesi (1990-2010), *Turkish Studies*, 8 (12), 263-284.

ÇEM, 2018, *Toprak Organik Karbonu Projesi Teknik Özet*, ÇEM, BİLGEM-YTE, Ankara.

ÇEM, 2022, *Türkiye'de Kıyı Kumulları ve Kumul Tesbit Çalışmaları Raporu,* Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, https://cem.csb.gov.tr/turkiye-de-kiyi-kumullari-ve-kumul-tesbit-calismalari-raporu-i-103696, [Ziyaret tarihi: 01 Mayıs 2022].

Çömez, A., Tolunay, D., Güner, Ş.T., 2019, Litterfall and the effects of thinning and seed cutting on carbon input into the soil in Scots pine stands in Turkey, *European Journal of Forest Research*, 138, 1-14.

Çömez, A., Tolunay, D., Güner, Ş.T., 2021, The Effect of Structural and Environmental Changes on Litter Decomposition of in *Pinus sylvestris* Stands, *Annals of Forest Science*, 78-19, 13.

Dalmonech, D., 2010, *Carbon And Nitrogen Dynamics in Forest Soils,* Doktora, Università Degli Studi Della Tuscia Di Viterbo, Dipartimento Di Scienze Dell'Ambiente Forestale E Delle Sue Risorse.

Davidson, E.A., Janssens, I.A., 2006, Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change, *Nature*, 440, 165-173.

Doygun H., Berberoğlu S., Alphan H., 2003, Hatay, Burnaz Kıyı Kumulları Alan Kullanım Değişimlerinin Uzaktan Algılama Yöntemi ile Belirlenmesi, *Ekoloji ve Çevre Dergisi,* 12 (48), 4-9.

DPT, 1997, *Ulusal Çevre Eylem Planı. Arazi Kullanımı ve Kıyı Alanlarının Yönetimi* http://www.izka.org.tr/files/KK/Kiyi/ulusal_cevre_eylem_plani.pdf, [Ziyaret tarihi: 17 Şubat 2014].

Efe, R., Demir S., 2007, Tuz gölü (Karataş) Çevresinde Arazi Kullanımı Değişiminin Kumullara Etkisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 48, 59-72.

Enez, K., Arıcak, B., Sarıyıldız, T., 2015, Effects of hoarvesting activities on litter decomposition rates of Scots pine, Trojan fir, and Sweet Chestnut, *Sumarski List*, 7-8, 361-368.

Erginal A.E., 2008, Coğrafya ve Jeoloji Laboratuarı Bozcaada: Keşfedilmemiş Yerbilimsel Değerler, *Bozcaada Değerleri Sempozyumu,* 25-26 Ağustos 2008, Çanakkale, Çanakkale, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yayınları, 173-181.

Erinç, S., 2001, *Jeomorfoloji II*, 3. Basım, Der Yayınları, İstanbul.

Ertek, A., 2011, Kıyı kumulları oluşumları, gelişimleri, yayılışları ve Türkiye'den bazı problemli kumul sahaları, 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 21-23 Kasım 2011 Trabzon, Ankara, Mattek Matbaacılık, ISBN: 978-605-01-0198-0, 15-22.

Falloon, P., Smith, P., 2002, Simulating SOC Changes in Long-term Experiments with RothC and CENTURY: Model Evaluation for a Regional Scale Application, *Soil Use and Management,* 18, 101-111.

FAO, 2020a, *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report.* https://doi.org/10.4060/ca9825en, [Ziyaret tarihi: 01 Mayıs 2022].

FAO, 2020b, *Global Forest Resources Assessment Data,* https://fra-data.fao.org/WO/fra2020/home/, [Ziyaret tarihi: 01 Mayıs 2022].

Fioretto, A., Musacchio, A., Andolfi, G., Virzo de Santo, A., 1998, Decomposition Dynamics of Litters of Various Pine Species in a Corsican Pine Forest, *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 30, No. 6, 721-727.

Flanagan, P.W., Van Cleve, K., 1983, Nutrient cycling in relation to decomposition and organic-matter quality in taiga ecosystems, *Canadian Journal of Forest Research*, 13, 795-817.

Friedlingstein, P., Jones, M.W., O'Sullivan, M., Andrew, R.M., Bakker, D.C., Hauck, J., ve diğ., 2022, Global Carbon Budget 2021, *Earth System Science Data*, 14, 1917-2005, https://doi.org/10.5194/essd-14-1917-2022.

García-Plé, C., Varell, P., Morey, M., 1995, Litter fall and decomposition in a *Pinus halepensis* forest on Mallorca, *Journal of Vegetation Science*, 6, 17-22.

Gianelle, D., Oechel, W., Miglietta, F., Rodeghiero, M., Sottocornola, M., 2010, Cataloguing Soil Carbon Stocks. *Science*, Vol. 330, No. 6010, 1476-1477.

Hacıkadiroğlu, S, 1999, *Kaş-Kumluca İlçeleri Arasındaki Kıyı Kesiminde Görülen Fiziksel Değişimlerin İncelenmesi ve Alan Kullanımı Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı. Adana.

Heffner, J., Steenberg, J., Leblon, B., 2021, Comparison between Empirical Models and the CBM-CFS3 Carbon Budget Model to Predict Carbon Stocks and Yields in Nova Scotia Forests, *Forests*, 12, 1235.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005, Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas, *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978. DOI: 10.1002/joc.1276.

IPCC, 2003, *Good Practice Guidance For Land Use, Land-use Change and Forestry*, In: IGES, Task Force on National Greenhouse Inventories, Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K.,Wagner, F. (ed.), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japonya.

IPCC, 2006, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, In: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Ed.), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japonya.

IPCC, 2013, *Annex III: Glossary*, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V., Midgley, P.M. (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, Birleşik Krallık ve New York, ABD.

IPCC, 2019, *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, In, Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M. (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, Birleşik Krallık ve New York, ABD.

IPCC, 2021, *Summary for Policymakers*, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy,E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, Birleşik Krallık ve New York, ABD, 3-32.

IPCC, 2022, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, In: Shukla, P.R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., van Diemen, R., McCollum, D., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., Fradera, R., Belkacemi, M., Hasija, A., Lisboa, G., Luz, S., Malley, J., (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, Birleşik Krallık ve New York, ABD.

Irmak A., 1943, Akyatan Eksibesi ve Eksibelerin Ağaçlandırılması, *Orman ve Av*, 11, 375-381.

Irmak, A., Kurter, A., Kantarcı, M.D., 1980, *Trakya'nın Orman Yetişme Ortamı Bölgelerinin Sınıflandırılması*, İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.

Ito, A., Oikawa T., 2002, A simulation model of the carbon cycle in land ecosystems (Sim-CYCLE): A description based on dry-matter production theory and plot-scale validation, *Ecological Modelling*, 151, 147-179.

İstanbul OBM, *1968, İstanbul - Çatalca Terkos Gölü Muhafaza Ormanı 2. Kısım Ağaçlandırma Projesi*, İstanbul Orman Başmüdürlüğü Ağaçlandırma Grup Müdürlüğü, İstanbul.

Jackson, R., 2019, Eunice Foote, John Tyndall and a question of priority, *Notes and Records*, 74, 105-118.

Jahnke, F., Palacin, D., Tent, K, 2018, *Lectures in Model Theory*, European Mathematical Society, İsviçre.

Jansson, P., Karlberg, L., 2004, *COUP Manual. Coupled Heat and Mass Transfer Model for Soil-plant-atmosphere Systems*, Stockholm, İsveç.

Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A., 1991, Model estimates of CO2 emissions from soil in response to global warming. *Nature*, 351, 304-306.

Jevšenak, J., Klopčič, M., Mali, B., 2020, The Effect of Harvesting on National Forest Carbon Sinks up to 2050 Simulated by the CBM-CFS3 Model: A Case Study from Slovenia, *Forests*, 11, 1090.

Jobbágy, E., Jackson R. B., 2000, The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and its Relation to Climate and Vegetation, *Ecological Applications*, 10(2), 423-436. DOI:10.2307/2641104

Jones, C., Falloon, P., 2009. *Sources of uncertainty in global modelling of future soil organic carbon storage*, Uncertainties in Environmental Modelling and Consequences for Policy Making, In: In: Baveye, P.C., Laba, M., Mysiak, J. (ed.), NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 283-316. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2636-1_13

Kantarcı M.D., Eruz E., Kantarcı N., 1973, Trakya'nın Karadeniz Kıyısı Kumullarından Durusu (Terkos) ve Yalıköy (Podima) Kumullarının Orman Yetişme Muhiti Özellikleri Üzerine Araştırmalar, *IV. Bilim Kongresi*, 5-8 Kasım 1973 Ankara, Ankara, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Veteriner ve Hayvancılık Araştırma Grubu, TÜBİTAK.

Karabacak E., Erginal A.E., Özmen, H., 2008, Bozcaada-Batıburnu Kumulu Florası Ve Kumul-Vejetasyon Haritalaması, *Bozcaada Değerleri Sempozyumu*, 25-26 Ağustos 2008 Çanakkale, Çanakkale, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yayınları, 183-191.

Karabıyık, S.B., 2014, *Türkiye Ormanlarında Bitkisel Kütledeki Karbon Stoku: Farklı Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karaer, F., Kutbay H.G., Kılınç M., 1997, The Flora and Vegetation of the Coastal Dunes of the East Black Sea Region, *Turkish Journal of Botany*, 21, 177-185.

Kavgacı, A., 2007, *Demirköy- İğneada Longos Ormanları ve Çevresinin Bitki Toplumları ve Kuruluş Özellikleri*, Doktora, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kavvadias, V.A., Alifragis, D., Tsiontsis, A., Brofas, G., Stamatelos, G., 2001, Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece, *Forest Ecology and Management*, 144 (2001), 113-127.

Kayıkçı S., Altay V., Güzel Y., 2012, Hatay İlinde Yayılış Gösteren Bazı Geofit Bitki Türleri Üzerine Bir İnceleme, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 139-143.

Komarov, A., Chertov, O., Zudin, S., Nadporozhskaya, M., Mikhailov, A., Bykhovets, S., Zudina, E., Zoubkova, E., 2003, EFIMOD2- A model of growth and Cycling of Elements in Boreal Forest Ecosystems, *Ecological Modelling*, 170, 373-392.

Koray, E.Ş., Tolunay, D., 2020, Türkmen Dağı karaçam meşcerelerinde döküm ile ekosisteme giren besin maddesi miktarları, *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 21 (3), 201-214.

Kull, S.J., Rampley, G.J., Morken, S., Metsaranta, J., Neilson, E.T. ve Kurz, W.A., 2019, *Operational-Scale Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3) version 1.2: User's Guide*, Natural Resources Canada - Forests and Forestry, Northern Forestry Centre, Edmonton, AB, Kanada.

Kurz, C., Couteauxa, M-M., Thiery J.M., 2000, Residence time and decomposition rate of *Pinus pinaster* needles in a forest floor from direct field measurements under a Mediterranean climate, *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 1197-1206.

Kurz, W.A., Dymond, C.C., White, T.M., Stinson, G., Shaw, C.H., Rampley, G.J., Smyth, C., Simpson, B.N., Neilson, E.T., Trofymow, J.A., Metsaranta J. ve Apps, M.J., 2009, CBM-CFS3: A Model of Carbon-dynamics in Forestry and Land-use Change Implementing IPCC Standards, *Ecological Modelling*, 220, 480-504.

Kurz, W. A., Apps, J. M., 1999, A 70-Year Retrospective Analysis of Carbon Fluxes in the Canadian Forest Sector, *Ecological Applications*, 9, 526-547.

Lal, R., 2016, Soil health and carbon management, *Food and Energy Security*, 5(4), 212-222.

Macphail Woods, 2020, *Macphail Woods Ecological Project. The Acadian Forest.* https://macphailwoods.org/forestry/the-acadian-forest/, [Ziyaret tarihi: 21 Aralık 2020].

Lee, A.R., Yi, K., Son, Y., Kim, R., Kim, C., Park, GS., Lee, KH., Yi, MJ. 2010, Approaches for Developing a Korean Model Through Analysis of Overseas Forest Soil Carbon Models, *Journal of Korean Forest Society*, 99, 791-801.

Lee, J., Tolunay, D., Makineci, E., Çömez, A., Son, Y.M, Kim, R., Son, Y., 2016a, Estimating the Age-Dependent Changes in Carbon Stocks of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Turkey, *Annals of Forest Science*, 73 (2) - 523-531.

Lee, J., Dorji, N., Kim, S., Wang, S.W., Son, Y., 2016b, Piloting the FBDC Model to Estimate Forest Carbon Dynamics in Bhutan, *Korean Journal of Environmental Biology*, 34 (2), 73-78.

Lee, J., Makineci, E., Tolunay, D., Son, Y., 2018, Estimating the effect of abandoning coppice management on carbon sequestration by oak forests in Turkey with a modeling approach. *Science of The Total Environment*, Volume 640-641, 400-405.

Lee, S., Lee, J., Kim, S., Roh, Y., Kamariah, A.S., Lee, W. Ve Son, Y., 2017, Forest Structure and Carbon Dynamics of an Intact Lowland Mixed Dipterocarp Forest in Brunei Darussalam, *Journal of Forestry Research*, 29, 199-203.

Li, C., Trettin, C., Ge, S., McNulty, S., Butterbach-Bahl, K., 2005, Modelling carbon and nitrogen biogeochemistry in forest ecosystems. *3rd International Nitrogen Conference*, Science Press, ABD, 893-898.

Liski J, Perruchoud D, Karjalainen T., 2002, Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe, *Forest Ecology and Management*, 169, 159-175.

Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R., 2005, Carbon and Decomposition Model Yasso for Forest Soils. *Ecological Modelling*,189, 168-182.

Metsaranta, J.M., Kurz, W.A., 2012, Inter-annual variability of ecosystem production in boreal jack pine forests (1975–2004) estimated from tree-ring data using CBM-CFS3, *Ecological Modelling*, 224 (2012) 111-123.

MGM, 2022, 2021 Yılı İklim Değerlendirmesi. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2021-iklim-raporu.pdf.

Microsoft, 2015a, Microsoft Excel, https://office.microsoft.com/excel

Microsoft, 2015b, Microsoft Access, https://office.microsoft.com/access

Moro, M.J., Domingo, F., 2000, Litter Decomposition in Four Woody Species in a Mediterranean Climate: Weight Loss, N and P Dynamics, *Annals of Botany*, 86, 1065-1071.

Muukkonen, P., 2005, Needle biomass turnover rates of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) derived from the needle-shed dynamics. *Trees*, 19, 273-279.

Nabuurs, G.-J., Schelhaas, M.-J., Pussinen, A., 2000, Validation of the European Forest Information Scenario Model (EFISCEN) and a projection of Finnish forests. *Silva Fennica*, 34, 167-179.

NASA (2022): Arctic Sea Ice Extent. https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/ [Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2022].

Natural Resources Canada, 2007. *Is Canada's Forest a Carbon Sink or Source?* http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/27501.pdf, [Ziyaret tarihi: 26 Temmuz 2019].

Navarro, F.B., Romero-Freire, A., Del Castillo, T., Foronda, A., Jiménez, M.N., Ripoll, M.A., Sánchez-Miranda, A., Huntsinger, L., Fernández-Ondoño, E., 2013, Effects of thinning on litterfall were found after years in a *Pinus halepensis* afforestation area at tree and stand levels, *Forest Ecology and Management*, 289, 354-362.

NOAA, 2022, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. National Oceanic and Atmospheric Administration https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/ [Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2022].

OGM, 1968, *Çatalca Orman İşletmesi Durusu Serisi Kat'i Amenajman Planı (1968-1987)*, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, İstanbul.

OGM, 1971, *Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü Durusu Serisi Amenajman Planı (1971-1990)*, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, İstanbul.

OGM, 1985, *Adana - Akyatan Kumul Tesbiti Çalışmaları*, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM, 2013, *Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü Durusu Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022)*, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, İstanbul.

OGM, 2014, *Kumul Tespit Çalışmaları, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü,*https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/OGMProjeler/Kumul%20Tespit%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Fmalar%C4%B1.pdf, [Ziyaret tarihi: 03 Haziran 2016].

Olguin, M., Wayson, C., Fellows, M., Birdsey, R., Smyth, C.E., Magnan, M., Dugan, A.J., Mascorro, V.S., Alanís, A., Serrano, E., Kurz, W.A., 2018, Applying a systems approach to assess carbon emission reductions from climate change mitigation in Mexico's forest sector, *Environmental Research Letters*, 13(3), 35-50.

Olson, J.S., 1963, Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44, 322-331.

Ortiz C., Liski J., Gärdenäs A., Lehtonen A., Lundblad M., Stendahl J., Ågren G., Karltun E., 2013, Soil organic carbon stock changes in Swedish forest soils - A comparison of uncertainties and their sources through a national inventory and two simulation models, *Ecological Modelling*, 251, 221-231.

Özkan, U., 2021, *Ormancılık Faaliyetlerinden Kaynaklanan Sera Gazı Salım ve Tutumlarının Farklı Ölçeklerde CBM-CFS3 Modeli ile Simülasyonu*, Doktora, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Orman Mühendisliği Programı, İstanbul.

Önal G., 1981, Kilyos Bölgesi Kumlarının Değerlendirme Olanaklarının Araştırması, *Türkiye Madencilik ve Teknik 7. Kongresi*, 19-20 Şubat 1981 Ankara, Ankara, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 319-337.

Öztürk, Y., 1991, *Datça Yarımadasında Karakum Kumulunda Toprakların ve Kumulun Özellikleri Üzerinde İncelemeler*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Öztürk Z., Erginal A.E., Öztürk B., 2011, Batı Burnu Kumul Sahasında (Bozcaada) Rüzgâr Etkinliği ve Kum Taşınım İlişkileri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 56, 55-64.

Park, C.W., Lee, J., Yi, M., Kim, C., Park, G.S., Kim, R.H., Lee, K.H., Son, Y., 2013, Estimation of change in soil carbon stocks of *Pinus densiflora* forests in Korea using KFSC model under RCP 8.5 climate change scenario, *Climate Change Research*, 4, 77-93.

Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., Ojima, D.S., 1987, Analysis of Factors Controlling Soil Organic Matter Levels in Great Plains Grasslands, *Soil Science Society of America Journal*,51, 1173-1179.

Parton, W.J., Ojima, D.S., Cole, C.V. ve Schimel, D.S., 1994, A General Model for Soil Organic Matter Dynamics: Sensitivity to Litter Chemistry, Texture and Management, *Quantitative Modeling of Soil Forming Processes*, 2 Kasım 1992, Minnesota, ABD.

Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., P.K. Khanna, P. K., 2002, Change in Soil Carbon Following Afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168. 241-257.

Paul, K. I., Polglase, P. J., Richards, G. P., 2003, Sensitivity Analysis of Predicted Change in Soil Carbon Following Afforestation, *Ecological Modelling*, 164, 137-152.

Paul, K.I., Polglase, P.J., 2004, Prediction of decomposition of litter under eucalypts and pines using the FullCAM model, *Forest Ecology and Management*, 191, 73-92.

Pehlivan, S., 2017, *Durusu Kumul Ağaçlandırmasında Ağaç Kütlesinde Depolanan Karbon Miktarının Farklı Modeller İle Tahmini*, Doktora. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Orman Mühendisliği Anabilim Dalı. Toprak İlmi ve Ekolojisi Programı. İstanbul.

Pektaş, M., 2011, *Antakya-Samandağ Kıyı Kumullarında Sürdürülen Tarımsal Faaliyetlerin Kaynak Kullanım Planlaması Yönünden İncelenmesi*, Yüksek Lisans, Mustafa Kemal Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı.

Peng, C., Apps, J.M., Price, D.T., Nalder, I.A., Halliwell, D.H., 1998, Simulating Carbon Dynamics Along the Boreal Forest Transect Case Study (BFTCS) in Central Canada, 1, Model Testing, *Global Biogeochemical Cycles*, 12, 381-392.

Pilli, R., Grassi, G., Moris, J.M., Kurz, W.A., 2014, Assessing the carbon sink of afforestation with the Carbon Budget Model at the country level: An example for Italy, *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 8, 4.

Polat, O., 2010, *Turan Emeksiz kumulu fıstıkçamı (Pinus pinea L.) plantasyonlarının toprak özelliklerindeki değişimlerin irdelenmesi*, Yüksek Lisans, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Arkeometri Ana Bilim Dalı, Adana.

Polat, O., Polat, S., 2014, Kumul ağaçlandırmalarının toprak agregatlaşmasına (kırıntılanmasına) etkisi, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, Seri: A, 1 (1), 12-21.

Rapp, M., 1984, Repartition et de matiere organique dans un tcosysteme a *Pinus pinea, Annales Sciences Forestikres*, 41, 253-272.

Rapp, M., Cabanettes, A., 1981, *Biomass and Productivity of a Pinus pinea L. Stand*. Components of productivity of Mediterranean-climate regions Basic and applied aspects. Tasks for Vegetation Science, Vol 4, In: Margaris, N.S., Mooney, H.A. (ed.), Springer, Dordrecht, Hollanda.

Regina, I.S., 2001. Litter fall, decomposition and nutrient release in three semi-arid forests of the Duero basin, Spain, *Forestry*, 74 (4): 347-358.

Robertson, G.P., Paul, E.A., 2000, *Decomposition and Soil Organic Matter Dynamics*, Methods in Ecosystem Science, In: Osvaldo E. Sala, O.E., Jackson, R.B., Mooney, H.A., Howarth, R.W. (ed.), Chapter 7, Springer-Verlag, New York, ABD, 104-117.

Roig, S., del Río, M., Cañellas, İ., Montero, G., 2005, Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 15(1-3), 179-190.

RStudio Team, 2021, RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. http://www.rstudio.com/ [Ziyaret tarihi: 21 Aralık 2020].

Rust I.C., Illenberger W.K., 1996, Coastal Dunes: Sensitive or Not?, *Landscape and Urban Planning*, 34. 165-169.

Saraçoğlu Ö., Bozkuş H.F., 1996, Terkos Kumulunun Fıstık ve Sahil Çamlarıyla Yapılan Ağaçlandırılmasında Kumul Tesbit Yöntemlerinin Başarısı, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 46 (A2), 59-70.

Saatçioğlu F., Atay İ., Açıkbaş M.R., Özman N., 1978, *Terkos Gölü'nü Tehdit Eden Büyük Kumulun Tesbit ve Islahına Matuf Ağaçlandırmaların Emniyeti ve Geliştirilmesi Üzerine Araştırmalar*. Ankara: TÜBİTAK Yayınları.

Sarbadhikari, H., Srivastava, M., 2017, *A Course on Basic Model Theory*, Springer Singapore.

Sarıyıldız, T., Küçük, M., 2008, Litter Mass Loss Rates in Deciduous and Coniferous Trees in Artvin, Northeast Turkey: Relationships with Litter Quality, Relationships with Litter Quality, Microclimate, and Soil Characteristics, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32 (6), 547-559.

Scharlemann J. PW., Tanner, E. VJ., Hiederer, R., Kapos, V., 2014, Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, Carbon Management, 5:1, 81-91, DOI: 10.4155/cmt.13.77

Schelhaas, M.-J., Eggers, J., Lindner, M., Nabuurs, G.J., Päivinen, R., Schuck, A., Verkerk, P.J., Werf, D.C.v.d., Zudin, S., 2007, *Model documentation for the European Forest Information Scenario model (EFISCEN 3.1.3). Alterra report 1559 and EFI technical report 26*. Alterra and European Forest Institute, Wageningen and Joensuu, Finlandiya.

Senapati. N, Ghosh, S., Daniel, H., Rakshit, A., 2014, *A Basic Concept on Modelling Soil Organic Carbon*. Modelling and Simulation of Diffusive Processes, Simulation Foundations, Methods and Applications, In: Basu, SK., Kumar, N. (ed.), Springer, İsviçre, DOI 10.1007/978-3-319-05657-9_14, 293-314.

Serteser, A., 1999, Akyatan (Adana) Kıyı Kumullarında Bitki Örtüsü ile Toprak İlişkisi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 27-34.

Sertok, B., 2007, Su Rezervlerinin Verimliliğinin Artırılması Çalışmasına Bir Örnek: Durusu (Terkos) Kumul Tespit Çalışması, *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu*, 13-14 Aralık 2007, İstanbul.

Skrivanos, P., 2012, *Comparison of techniques for measuring forest carbon in British Columbia*, Yüksek Lisans, British Columbia Üniversitesi, Kanada.

Silver W.L., Miya, R.K., 2001, Global patterns in root decomposition: Comparisons of climate and litter quality effects, *Oecologia*, 129, 407-419.

Starr, M., Saarsalmi, A., Hokkanen, T., Merilä, P, Helmisaari, H.S., 2005, Models of litterfall production for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland using stand, site and climate factors, *Forest Ecology and Management*, 205, 215-225.

Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A. B., de Remy de Courcelles, V., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D. A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P. C., Chenu, C., Jastrow, J. D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A. G., Parton, W. J., Whitehead, D., Zimmermann, M., 2013, The Knowns, Known Unknowns and Unknowns of Sequestration of Soil Organic Carbon, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164, 80-99. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001

Şatır, E., 2017, Scenario analysis using carbon budget modelling for alternative forest management strategies in Turkey: The case study of Arikaya. Yüksek Lisans, University of British Columbia, Kanada.

Şekerciler, F., Ketenoğlu, O., 2011, Flora of North Dunes of Karpaz National Park (Cyprus), *Biological Diversity and Conservation*, 4/2, 189-203.

The Ecological Framework of Canada, 2020. *Atlantic Maritime Ecozone*, http://www.ecozones.ca/english/zone/AtlanticMaritime/index.html, [Ziyaret tarihi: 21 Aralık 2020].

Thürig, E., Schelhaas, M.-J., 2006, Evaluation of a large-scale forest scenario model in heterogeneous forests: a case study for Switzerland, *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 671-683.

Tolunay, D., Çömez, A., 2007, Orman Topraklarında Karbon Depolanması ve Türkiye'deki Durum, *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar*, 13-14 Aralık 2007 İstanbul, İstanbul, 97-107.

Tolunay, D., Çömez, A., 2008, Türkiye Ormanlarında Toprak ve Ölü Örtüde Depolanmış Organik Karbon Miktarları, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu 2008*, 22-25 Ekim 2008 Hatay, 750-765.

Tolunay, D., Makineci, E., Şahin, A., Özturna, A.G., Pehlivan, S. ve Abdelkaim, M.M.A., 2017, İstanbul-Durusu kumul alanlarındaki sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ve fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) ağaçlandırmalarında karbon birikimi, TÜBİTAK-TOVAG Proje No: 114O797, İstanbul.

Tolunay, D., 2011, Total carbon stock and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Vol.35, pp.265-279.

Tolunay, D., 2013, *Ormanlar ve İklim Değişikliği*. Portakal Baskı A.Ş., İstanbul.

Tolunay, D., 2019. Biomass factors used to calculate carbon storage of Turkish forests. Forestist 69(2): 145-155.

Tolunay, D., 2021, *Ülkemizdeki Orman Ekosistemlerinin Sera Gaz Emisyonlarının Azaltımı Açısından Önemi*. Yükseköğretim Kuruluna sunulmuş rapor (Basılmamıştır).

Tolunay, D., 2022, *İklim Değişikliği: Dünyada ve Türkiye'de Neler Yaşandı ve Yaşanabilir?*, Su Külliyatı, İstanbul, Kültür ve Sanat Ürünleri Ticaret A.Ş., İstanbul (Basımda).

Tolunay, D., Karabıyık, B., Özturna, A.G., 2018, Türkiye Ormanlarında Bitkisel Kütledeki Karbon Stokları. *71. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, İstanbul, 23-27 Nisan 2018, 1027-1027.

Torn, M.S., Swanston, C.W., Castanha, C., Trumbore, S.E., 2009. *Storage and Turnover of Organic Matter in Soil*, Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental, In: Senesi, N., Xing, B., Huang, P.M. (ed.), Chapter 6, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, ABD, 219-272.

TSE, 2006, *Bilişim Terimleri Sözlüğü*. Türk Standardları Enstitüsü, 1. Basım, ISBN 975-19-3836-8, Ankara.

Ťupek, B., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Peltoniemi, M., Ukonmaanaho, L., Hokkanen, T., Nöjd, P., Nevalainen, S., Lindgren M., Lehtonen, A., 2015, Foliar turnover rates in Finland - Comparing estimates from needle-cohort and litterfall-biomass Methods. *Boreal Environmental Research*, 20, 283-304.

TÜİK (2022): Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2020 National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change.Turkish Statistical Instute.

Tüfekçi, İ., 1992, *Akyatan Kumullarında Tesis Edilmiş Kumul Ormanlarının Geçmişi ve Bugünkü Durumlarının Tesbiti*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türkeş, M., 2001, Küresel iklimin korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye, *Tesisat Mühendisliği*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süreli Teknik Yayın 61, 14-29.

Türkeş M., 2008, Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 26-37.

Türkeş, M., 2020, İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli -II Dünyada ve Türkiye'de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişiklikleri ve Değişkenliği. *Toplum ve Hekim*, 35, 1, 3-31.

Ukonmaanaho, L., Merilä, P., Nöjd, P., Nieminen, T.M., 2008, Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland, *Boreal Environment Research*, 13, 67-91.

Ulu Ağır, Ş., 2013, *Samsun Kıyı Kumullarındaki Bitki Biyoçeşitliliği Üzerine Araştırmalar*, Doktora, T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı. Samsun.

UNECE, 2019, *Carbon Sinks and Sequestration*, https://www.unece.org/forests/outlook/carbonsinks.html, [Ziyaret tarihi: 27 Temmuz 2019].

Ünal, B., 2013, *Türkiye'de ve Dünya'da Sulak Alanlar*, Sulak Alanlar, In: Meriç B.T., Çağırankaya, S. (ed.), Bölüm 5, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 97-126.

Ürgenç, S., 1994, Antalya - Belek Sahil Kumulunda (*Pinus pinaster* Ait.) Orijin Denemesi ve Sahilçamı ile Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nda Büyüme İlişkileri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 44 (A2), 1-17.

Walkley, A., Black, I.A., 1934, An examination of the Degtjareff method for determininfg soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

Yeşilkaya Y., Neyişçi, T., 1991, Batı Akdeniz Bölgesindeki Kumul Ağaçlandırmalarının Toprak Verimliliği Üzerine Etkileri, İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Teknik Bülteni 222, Ankara, 1-2.

Yılmaz R., Serbest, D., 2005, Saros Körfezi Kıyı Kumulları Üzerindeki Çevresel Etkilerin Araştırılması, *Trakya University Journal of Social Science*, 6 (2), 72-79.

Yi, K., Park, C.W., Ryu, S.-R., Lee, K.-H., Yi, M.-J., Kim, C., Park, G.-S., Kim, R., Son, Y., 2013, Simulating the soil carbon Dynamics of *Pinus densiflora* forests in central Korea, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28, 241-256.

Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Korovin G.N., Kurz V., 2008, Assessment and projection of forest carbon budget for Vologodskaya Oblast using the Canadian model CBM-CFS, *Lesovedeniye*, 6, 3-14.

Zhi, J., Jing, C., Lin, S., Zhang, C., Liu, Q., DeGloria, S.D., Wu J., 2014, Estimating Soil Organic Carbon Stocks and Spatial Patterns with Statistical and GIS-Based Methods, PLoS ONE 9(5):e97757, DOI:10.1371/journal.pone.0097757.

8. EKLER

EK 1. Kabuklu gövde odunu (KGO) ve kabuksuz ticari gövde odunu (KzTO) hacimleri (m^3/ha).

Meşcere Yaşı	Fıstık Çamı		Sahil Çamı	
	KGO (m^3/ha)	KzTO (m^3/ha)	KGO (m^3/ha)	KzTO (m^3/ha)
1	4,73	2,40	8,51	2,89
2	6,12	3,19	10,51	3,73
3	7,80	4,17	12,86	4,74
4	9,78	5,36	15,60	5,98
5	12,10	6,79	18,78	7,46
6	14,77	8,46	22,42	9,22
7	17,82	10,41	26,56	11,30
8	21,24	12,65	31,25	13,72
9	25,04	15,18	36,50	16,52
10	29,23	18,01	42,36	19,74
11	33,78	21,14	48,85	23,41
12	38,70	24,57	55,99	27,56
13	43,97	28,30	63,80	32,21
14	49,55	32,30	72,29	37,41
15	55,44	36,57	81,48	43,16
16	61,59	41,09	91,37	49,50
17	67,98	45,84	101,97	56,44
18	74,57	50,78	113,25	63,99
19	81,33	55,90	125,23	72,16
20	88,24	61,18	137,87	80,96
21	95,24	66,58	151,17	90,39
22	102,32	72,07	165,11	100,44
23	109,43	77,64	179,65	111,11
24	116,55	83,25	194,77	122,38
25	123,66	88,89	210,43	134,24
26	130,71	94,52	226,61	146,67
27	137,69	100,12	243,25	159,64
28	144,58	105,68	260,33	173,14
29	151,35	111,17	277,81	187,13
30	157,99	116,58	295,63	201,57
31	164,48	121,89	313,76	216,45
32	170,81	127,10	332,16	231,71
33	176,98	132,18	350,79	247,34
34	182,96	137,14	369,60	263,28
35	188,75	141,95	388,55	279,50
36	194,35	146,62	407,60	295,96
37	199,76	151,14	426,71	312,63
38	204,96	155,51	445,84	329,47
39	209,97	159,72	464,96	346,44
40	214,78	163,77	484,03	363,50
41	219,38	167,67	503,02	380,62
42	223,80	171,40	521,89	397,76
43	228,02	174,98	540,63	414,89
44	232,05	178,41	559,19	431,99
45	235,89	181,68	577,55	449,01
46	239,56	184,81	595,70	465,93
47	243,05	187,79	613,61	482,73
48	246,36	190,63	631,25	499,38
49	249,52	193,34	648,62	515,85
50	252,51	195,91	665,69	532,13

EK 2: Fıstık çamı meşcereleri toplam bitkisel kütle havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,30	0,30	0,32	0,32	3,64	3,68	2,71	2,71
2	0,95	0,95	1,01	1,01	4,24	4,28	3,16	3,16
3	1,87	1,87	2,00	2,00	4,97	5,01	3,70	3,70
4	3,02	3,02	3,23	3,23	5,82	5,88	4,34	4,34
5	4,36	4,37	4,67	4,67	6,82	6,89	5,08	5,08
6	5,87	5,89	6,29	6,29	7,97	8,05	5,95	5,95
7	7,52	7,56	8,07	8,07	9,29	9,38	6,93	6,93
8	9,31	9,36	9,99	9,99	10,77	10,89	8,04	8,04
9	11,20	11,27	12,03	12,03	12,42	12,56	9,27	9,27
10	13,18	13,27	14,17	14,17	14,25	14,41	10,64	10,64
11	15,24	15,35	16,39	16,39	16,24	16,43	12,13	12,13
12	17,36	17,50	18,68	18,68	18,40	18,62	13,74	13,74
13	19,53	19,69	21,02	21,02	20,72	20,97	15,48	15,48
14	21,73	21,92	23,41	23,40	23,19	23,47	17,33	17,33
15	23,96	24,18	25,81	25,81	25,80	26,12	19,28	19,28
16	25,47	25,73	27,47	27,47	28,54	28,89	21,33	21,33
17	27,23	27,52	29,37	29,37	31,40	31,79	23,47	23,47
18	29,05	29,36	31,35	31,34	34,35	34,78	25,68	25,68
19	30,92	31,26	33,37	33,37	37,39	37,87	27,95	27,96
20	32,83	33,20	35,44	35,44	40,51	41,03	30,29	30,29
21	34,76	35,16	37,54	37,53	43,68	44,24	32,66	32,66
22	36,72	37,15	39,65	39,65	46,89	47,50	35,06	35,06
23	38,69	39,14	41,79	41,79	50,12	50,78	37,49	37,49
24	40,66	41,14	43,92	43,92	53,37	54,08	39,92	39,92
25	42,63	43,14	46,06	46,05	56,62	57,37	42,35	42,35
26	44,58	45,12	48,17	48,17	59,85	60,65	44,77	44,77
27	46,52	47,09	50,27	50,26	63,06	63,91	47,18	47,18
28	48,43	49,02	52,33	52,33	66,23	67,12	49,55	49,55
29	50,30	50,93	54,37	54,36	69,36	70,29	51,89	51,89
30	52,14	52,79	56,36	56,36	72,43	73,41	54,19	54,19
31	53,94	54,62	58,31	58,31	75,44	76,46	56,45	56,45
32	55,70	56,41	60,21	60,21	78,37	79,44	58,65	58,65
33	57,41	58,14	62,06	62,06	81,24	82,35	60,79	60,79
34	59,07	59,83	63,87	63,86	84,02	85,18	62,88	62,88
35	60,68	61,46	65,61	65,61	86,72	87,92	64,90	64,91
36	62,24	63,04	67,29	67,29	89,34	90,57	66,86	66,86
37	63,74	64,56	68,92	68,92	91,87	93,14	68,76	68,76
38	65,19	66,03	70,49	70,49	94,31	95,61	70,58	70,58
39	66,58	67,45	72,00	72,00	96,65	98,00	72,34	72,34
40	67,92	68,81	73,45	73,45	98,91	100,29	74,03	74,03
41	69,20	70,11	74,84	74,84	101,07	102,48	75,65	75,66
42	70,43	71,36	76,17	76,17	103,15	104,59	77,21	77,21
43	71,61	72,55	77,45	77,45	105,13	106,61	78,70	78,70
44	72,74	73,69	78,67	78,66	107,03	108,53	80,12	80,12
45	73,81	74,78	79,83	79,83	108,85	110,37	81,48	81,48
46	74,83	75,82	80,94	80,94	110,58	112,13	82,78	82,78
47	75,81	76,81	81,99	81,99	112,22	113,80	84,01	84,01
48	76,73	77,75	83,00	83,00	113,79	115,40	85,19	85,19
49	77,62	78,65	83,95	83,95	115,29	116,91	86,30	86,31
50	78,46	79,50	84,86	84,86	116,70	118,35	87,37	87,37

EK 3: Fıstık çamı meşcereleri ölü örtü havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,17	0,30	0,22	0,22
3	0,14	0,13	0,14	0,14	0,34	0,52	0,38	0,38
4	0,27	0,22	0,24	0,24	0,50	0,70	0,52	0,52
5	0,43	0,34	0,36	0,36	0,66	0,87	0,64	0,64
6	0,64	0,47	0,50	0,50	0,83	1,03	0,76	0,76
7	0,88	0,62	0,65	0,66	1,01	1,20	0,89	0,89
8	1,16	0,77	0,82	0,82	1,20	1,38	1,02	1,02
9	1,47	0,94	1,00	1,00	1,40	1,57	1,16	1,16
10	1,82	1,12	1,18	1,19	1,63	1,77	1,31	1,31
11	2,18	1,30	1,37	1,38	1,87	2,00	1,48	1,48
12	2,57	1,48	1,56	1,57	2,14	2,25	1,66	1,66
13	2,98	1,66	1,75	1,76	2,43	2,51	1,86	1,86
14	3,40	1,85	1,95	1,96	2,74	2,80	2,07	2,07
15	3,84	2,03	2,14	2,15	3,09	3,12	2,30	2,30
16	4,26	2,18	2,30	2,31	3,46	3,45	2,55	2,55
17	4,65	2,31	2,43	2,44	3,86	3,81	2,81	2,81
18	5,05	2,44	2,56	2,58	4,29	4,19	3,10	3,10
19	5,45	2,57	2,70	2,72	4,74	4,60	3,39	3,39
20	5,84	2,70	2,83	2,85	5,23	5,02	3,71	3,71
21	6,25	2,83	2,96	2,99	5,74	5,47	4,04	4,04
22	6,65	2,95	3,10	3,12	6,28	5,93	4,38	4,38
23	7,05	3,08	3,23	3,26	6,84	6,42	4,74	4,74
24	7,46	3,21	3,36	3,39	7,43	6,92	5,11	5,11
25	7,87	3,33	3,49	3,52	8,04	7,43	5,49	5,49
26	8,28	3,45	3,62	3,65	8,67	7,96	5,88	5,88
27	8,69	3,57	3,74	3,77	9,32	8,51	6,28	6,28
28	9,11	3,69	3,87	3,90	9,98	9,06	6,69	6,69
29	9,52	3,81	3,99	4,02	10,66	9,62	7,10	7,10
30	9,93	3,92	4,11	4,14	11,36	10,19	7,53	7,53
31	10,35	4,04	4,23	4,26	12,07	10,77	7,95	7,95
32	10,76	4,15	4,35	4,38	12,79	11,36	8,38	8,38
33	11,17	4,25	4,46	4,49	13,52	11,94	8,82	8,82
34	11,58	4,36	4,57	4,60	14,25	12,53	9,25	9,25
35	11,99	4,46	4,68	4,71	14,99	13,12	9,69	9,69
36	12,40	4,56	4,79	4,82	15,73	13,72	10,13	10,13
37	12,80	4,65	4,89	4,92	16,48	14,31	10,56	10,56
38	13,20	4,75	4,99	5,02	17,23	14,90	11,00	11,00
39	13,60	4,84	5,09	5,11	17,98	15,48	11,43	11,43
40	14,00	4,93	5,18	5,20	18,72	16,06	11,86	11,86
41	14,39	5,01	5,27	5,29	19,47	16,64	12,29	12,29
42	14,78	5,09	5,36	5,38	20,21	17,21	12,71	12,71
43	15,17	5,17	5,44	5,46	20,94	17,78	13,13	13,13
44	15,56	5,24	5,52	5,54	21,67	18,34	13,54	13,54
45	15,94	5,32	5,60	5,62	22,39	18,89	13,95	13,95
46	16,31	5,39	5,68	5,69	23,11	19,44	14,35	14,35
47	16,68	5,45	5,75	5,77	23,82	19,98	14,75	14,75
48	17,05	5,52	5,82	5,83	24,52	20,51	15,14	15,14
49	17,42	5,58	5,88	5,90	25,21	21,03	15,52	15,52
50	17,78	5,63	5,95	5,96	25,90	21,54	15,90	15,90

EK 4: Fıstık çamı meşcereleri ölü odun havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03
4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,06	0,04	0,04
5	0,04	0,03	0,03	0,03	0,08	0,08	0,06	0,06
6	0,07	0,04	0,05	0,05	0,11	0,11	0,08	0,08
7	0,11	0,06	0,07	0,07	0,14	0,13	0,10	0,10
8	0,15	0,09	0,10	0,10	0,18	0,17	0,12	0,12
9	0,20	0,12	0,13	0,13	0,23	0,20	0,15	0,15
10	0,26	0,15	0,16	0,16	0,28	0,24	0,18	0,18
11	0,33	0,18	0,20	0,20	0,34	0,29	0,21	0,21
12	0,41	0,22	0,24	0,24	0,41	0,34	0,25	0,25
13	0,50	0,27	0,28	0,28	0,48	0,39	0,29	0,29
14	0,59	0,31	0,33	0,33	0,57	0,45	0,33	0,33
15	0,70	0,36	0,38	0,38	0,66	0,52	0,38	0,38
16	0,81	0,41	0,44	0,43	0,76	0,59	0,43	0,43
17	0,92	0,45	0,49	0,49	0,88	0,66	0,49	0,49
18	1,03	0,50	0,54	0,54	1,00	0,74	0,55	0,55
19	1,16	0,55	0,59	0,59	1,13	0,83	0,61	0,61
20	1,28	0,61	0,65	0,65	1,27	0,92	0,68	0,68
21	1,42	0,66	0,71	0,71	1,42	1,01	0,74	0,74
22	1,56	0,71	0,77	0,76	1,59	1,10	0,82	0,82
23	1,71	0,77	0,83	0,82	1,76	1,21	0,89	0,89
24	1,86	0,83	0,89	0,88	1,94	1,31	0,97	0,97
25	2,02	0,88	0,95	0,95	2,12	1,41	1,04	1,04
26	2,19	0,94	1,01	1,01	2,32	1,52	1,12	1,12
27	2,36	1,00	1,07	1,07	2,53	1,63	1,20	1,20
28	2,54	1,06	1,14	1,14	2,74	1,74	1,29	1,29
29	2,72	1,12	1,20	1,20	2,96	1,86	1,37	1,37
30	2,91	1,18	1,26	1,26	3,19	1,97	1,45	1,45
31	3,10	1,24	1,33	1,33	3,43	2,08	1,54	1,54
32	3,30	1,30	1,39	1,39	3,67	2,20	1,62	1,62
33	3,50	1,36	1,45	1,45	3,91	2,31	1,70	1,70
34	3,70	1,41	1,51	1,51	4,16	2,42	1,79	1,79
35	3,91	1,47	1,57	1,57	4,42	2,53	1,87	1,87
36	4,12	1,53	1,63	1,63	4,68	2,64	1,95	1,95
37	4,33	1,58	1,69	1,69	4,94	2,75	2,03	2,03
38	4,55	1,63	1,75	1,75	5,20	2,86	2,11	2,11
39	4,76	1,69	1,80	1,80	5,47	2,96	2,19	2,19
40	4,98	1,74	1,86	1,86	5,74	3,06	2,26	2,26
41	5,20	1,79	1,91	1,91	6,01	3,16	2,33	2,33
42	5,42	1,83	1,96	1,96	6,28	3,26	2,41	2,41
43	5,64	1,88	2,01	2,01	6,56	3,35	2,48	2,48
44	5,86	1,92	2,06	2,06	6,83	3,45	2,54	2,54
45	6,08	1,97	2,10	2,10	7,10	3,53	2,61	2,61
46	6,30	2,01	2,15	2,15	7,38	3,62	2,67	2,67
47	6,52	2,05	2,19	2,19	7,65	3,70	2,73	2,73
48	6,73	2,09	2,23	2,23	7,92	3,78	2,79	2,79
49	6,95	2,12	2,27	2,27	8,19	3,86	2,85	2,85
50	7,17	2,16	2,31	2,31	8,45	3,94	2,91	2,91

EK 5: Fıstık çamı meşcereleri toplam organik karbonu havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
1	3,48	3,48	3,48	3,48	3,49	3,49	3,49	3,49
2	3,48	3,48	3,48	3,48	3,52	3,52	3,50	3,50
3	3,49	3,48	3,48	3,48	3,55	3,54	3,50	3,50
4	3,51	3,49	3,49	3,49	3,56	3,54	3,49	3,49
5	3,54	3,51	3,51	3,51	3,58	3,55	3,48	3,48
6	3,58	3,54	3,54	3,54	3,59	3,55	3,47	3,47
7	3,63	3,57	3,58	3,58	3,60	3,55	3,46	3,46
8	3,69	3,61	3,62	3,62	3,62	3,56	3,45	3,45
9	3,76	3,66	3,67	3,67	3,63	3,56	3,44	3,44
10	3,83	3,71	3,72	3,73	3,65	3,57	3,44	3,44
11	3,91	3,77	3,78	3,79	3,67	3,59	3,44	3,44
12	4,00	3,84	3,85	3,86	3,69	3,60	3,44	3,44
13	4,09	3,91	3,92	3,93	3,71	3,62	3,44	3,44
14	4,18	3,98	3,99	4,01	3,73	3,65	3,44	3,44
15	4,28	4,06	4,07	4,09	3,76	3,67	3,45	3,45
16	4,38	4,14	4,15	4,17	3,79	3,70	3,46	3,46
17	4,47	4,22	4,23	4,25	3,83	3,74	3,48	3,48
18	4,57	4,30	4,31	4,34	3,86	3,77	3,49	3,49
19	4,67	4,39	4,40	4,43	3,90	3,81	3,51	3,51
20	4,77	4,48	4,48	4,52	3,94	3,85	3,53	3,53
21	4,87	4,57	4,57	4,62	3,98	3,90	3,56	3,56
22	4,97	4,67	4,67	4,71	4,02	3,95	3,58	3,58
23	5,08	4,77	4,76	4,81	4,06	4,00	3,61	3,61
24	5,19	4,87	4,86	4,91	4,11	4,05	3,64	3,64
25	5,30	4,97	4,96	5,02	4,16	4,11	3,67	3,67
26	5,41	5,07	5,06	5,12	4,21	4,17	3,71	3,71
27	5,53	5,18	5,17	5,23	4,26	4,23	3,74	3,74
28	5,64	5,28	5,27	5,34	4,31	4,30	3,78	3,78
29	5,76	5,39	5,38	5,45	4,37	4,37	3,82	3,82
30	5,88	5,50	5,49	5,56	4,42	4,44	3,87	3,87
31	6,00	5,61	5,60	5,68	4,48	4,51	3,91	3,91
32	6,12	5,73	5,71	5,79	4,54	4,59	3,96	3,96
33	6,24	5,84	5,83	5,91	4,60	4,66	4,01	4,01
34	6,37	5,96	5,94	6,03	4,66	4,75	4,06	4,06
35	6,49	6,07	6,06	6,14	4,72	4,83	4,11	4,11
36	6,62	6,19	6,18	6,26	4,78	4,91	4,17	4,17
37	6,75	6,31	6,29	6,39	4,85	5,00	4,22	4,22
38	6,88	6,43	6,41	6,51	4,91	5,09	4,28	4,28
39	7,02	6,55	6,54	6,63	4,98	5,18	4,34	4,34
40	7,15	6,67	6,66	6,75	5,04	5,28	4,41	4,41
41	7,29	6,79	6,78	6,88	5,11	5,37	4,47	4,47
42	7,42	6,91	6,91	7,00	5,18	5,47	4,53	4,53
43	7,56	7,03	7,03	7,13	5,25	5,57	4,60	4,60
44	7,70	7,16	7,16	7,26	5,32	5,67	4,67	4,67
45	7,85	7,28	7,28	7,39	5,40	5,78	4,74	4,74
46	7,99	7,41	7,41	7,51	5,47	5,88	4,81	4,81
47	8,13	7,53	7,54	7,64	5,54	5,99	4,88	4,88
48	8,28	7,66	7,67	7,77	5,62	6,10	4,95	4,95
49	8,43	7,78	7,79	7,90	5,69	6,21	5,03	5,03
50	8,58	7,91	7,92	8,03	5,77	6,32	5,10	5,10

EK 6: Fıstık çamı meşcereleri ekosistem karbonu havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
1	3,79	3,79	3,81	3,81	7,13	7,17	6,20	6,20
2	4,49	4,49	4,56	4,56	7,96	8,12	6,89	6,89
3	5,51	5,49	5,63	5,63	8,88	9,10	7,61	7,61
4	6,82	6,75	6,98	6,98	9,94	10,18	8,39	8,39
5	8,37	8,25	8,57	8,57	11,14	11,38	9,26	9,26
6	10,16	9,94	10,38	10,38	12,50	12,74	10,25	10,25
7	12,14	11,81	12,37	12,37	14,04	14,27	11,37	11,37
8	14,31	13,83	14,52	14,53	15,77	15,99	12,62	12,62
9	16,63	15,98	16,82	16,83	17,69	17,89	14,02	14,02
10	19,09	18,25	19,23	19,24	19,80	20,00	15,56	15,56
11	21,67	20,60	21,74	21,75	22,12	22,30	17,25	17,25
12	24,35	23,04	24,33	24,35	24,63	24,81	19,09	19,09
13	27,10	25,53	26,98	27,00	27,34	27,50	21,06	21,06
14	29,91	28,06	29,67	29,70	30,24	30,37	23,17	23,18
15	32,77	30,62	32,40	32,43	33,32	33,42	25,42	25,42
16	34,91	32,46	34,35	34,38	36,56	36,64	27,78	27,78
17	37,27	34,50	36,51	36,56	39,96	40,00	30,25	30,25
18	39,70	36,61	38,76	38,80	43,50	43,49	32,81	32,82
19	42,18	38,77	41,05	41,11	47,17	47,10	35,47	35,47
20	44,72	40,98	43,40	43,46	50,95	50,82	38,20	38,20
21	47,30	43,22	45,78	45,84	54,82	54,62	41,00	41,00
22	49,90	45,48	48,19	48,25	58,77	58,48	43,84	43,84
23	52,53	47,76	50,61	50,68	62,79	62,40	46,72	46,72
24	55,17	50,04	53,03	53,11	66,85	66,36	49,63	49,63
25	57,82	52,32	55,45	55,53	70,94	70,33	52,55	52,56
26	60,46	54,59	57,86	57,94	75,05	74,31	55,48	55,48
27	63,10	56,84	60,25	60,34	79,16	78,28	58,40	58,40
28	65,71	59,06	62,61	62,70	83,27	82,22	61,31	61,31
29	68,30	61,25	64,94	65,03	87,35	86,14	64,19	64,19
30	70,86	63,40	67,23	67,33	91,40	90,01	67,04	67,04
31	73,38	65,51	69,47	69,57	95,41	93,83	69,85	69,85
32	75,87	67,58	71,66	71,77	99,37	97,58	72,61	72,61
33	78,32	69,59	73,81	73,91	103,26	101,27	75,32	75,32
34	80,72	71,55	75,89	76,00	107,09	104,88	77,98	77,98
35	83,07	73,46	77,92	78,03	110,85	108,40	80,57	80,58
36	85,37	75,31	79,89	80,00	114,53	111,85	83,11	83,11
37	87,62	77,11	81,80	81,91	118,13	115,20	85,57	85,57
38	89,82	78,84	83,65	83,76	121,65	118,46	87,97	87,97
39	91,96	80,52	85,43	85,54	125,08	121,62	90,30	90,30
40	94,05	82,14	87,15	87,26	128,42	124,69	92,56	92,56
41	96,08	83,69	88,80	88,92	131,66	127,66	94,74	94,74
42	98,06	85,19	90,40	90,52	134,82	130,54	96,86	96,86
43	99,98	86,63	91,93	92,05	137,89	133,31	98,90	98,90
44	101,85	88,02	93,40	93,52	140,86	135,99	100,87	100,88
45	103,67	89,35	94,81	94,94	143,74	138,58	102,77	102,78
46	105,43	90,62	96,17	96,29	146,53	141,07	104,61	104,61
47	107,14	91,84	97,47	97,59	149,23	143,47	106,37	106,38
48	108,80	93,01	98,71	98,83	151,85	145,79	108,07	108,08
49	110,41	94,13	99,90	100,02	154,38	148,01	109,71	109,71
50	111,98	95,20	101,04	101,16	156,82	150,15	111,28	111,28

EK 7: Sahil çamı meşcereleri toplam bitkisel kütle havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,35	0,35	0,67	0,67	9,01	9,13	8,11	8,11
2	0,75	0,76	1,46	1,46	9,88	10,01	8,90	8,90
3	1,21	1,23	2,36	2,36	10,88	11,02	9,79	9,79
4	1,76	1,78	3,42	3,42	12,00	12,15	10,80	10,80
5	2,39	2,43	4,66	4,66	13,26	13,43	11,93	11,93
6	3,13	3,17	6,09	6,09	14,66	14,85	13,19	13,19
7	3,95	4,01	7,69	7,69	16,22	16,42	14,59	14,59
8	4,87	4,94	9,49	9,49	17,93	18,15	16,13	16,13
9	5,89	5,97	11,46	11,46	19,81	20,05	17,82	17,82
10	7,00	7,10	13,62	13,62	21,85	22,12	19,66	19,66
11	8,19	8,31	15,95	15,95	24,06	24,36	21,65	21,65
12	9,48	9,62	18,46	18,46	26,45	26,77	23,79	23,79
13	10,86	11,02	21,14	21,14	29,01	29,36	26,10	26,10
14	12,32	12,50	23,99	23,99	31,74	32,13	28,56	28,56
15	13,86	14,06	26,99	26,99	34,65	35,07	31,17	31,17
16	15,48	15,71	30,15	30,15	37,73	38,19	33,94	33,94
17	17,17	17,42	33,44	33,44	40,97	41,47	36,86	36,86
18	18,93	19,22	36,88	36,88	44,37	44,92	39,92	39,92
19	20,76	21,08	40,45	40,45	47,93	48,52	43,13	43,13
20	22,66	23,00	44,14	44,14	51,64	52,28	46,47	46,46
21	24,61	24,98	47,95	47,95	55,49	56,18	49,93	49,93
22	26,61	27,02	51,85	51,85	59,48	60,22	53,52	53,52
23	28,66	29,10	55,84	55,84	63,59	64,38	57,22	57,22
24	30,75	31,22	59,93	59,93	67,81	68,66	61,03	61,03
25	32,89	33,39	64,09	64,09	72,15	73,05	64,93	64,93
26	35,05	35,59	68,31	68,31	76,58	77,54	68,92	68,92
27	37,24	37,82	72,58	72,59	81,09	82,12	72,98	72,98
28	39,46	40,08	76,91	76,91	85,68	86,77	77,12	77,12
29	41,70	42,35	81,27	81,27	90,34	91,49	81,31	81,31
30	43,95	44,63	85,66	85,66	95,05	96,26	85,55	85,55
31	46,21	46,93	90,07	90,07	99,80	101,08	89,84	89,83
32	48,47	49,23	94,48	94,48	104,59	105,93	94,15	94,15
33	50,74	51,53	98,90	98,90	109,40	110,80	98,48	98,48
34	53,00	53,83	103,31	103,31	114,22	115,69	102,83	102,83
35	55,26	56,13	107,71	107,71	119,05	120,59	107,18	107,18
36	57,50	58,41	112,09	112,09	123,88	125,48	111,53	111,52
37	59,73	60,67	116,44	116,44	128,69	130,36	115,86	115,86
38	61,94	62,92	120,75	120,75	133,48	135,21	120,18	120,17
39	64,14	65,15	125,03	125,03	138,24	140,04	124,46	124,46
40	66,31	67,36	129,26	129,26	142,96	144,83	128,72	128,72
41	68,45	69,53	133,44	133,44	147,64	149,57	132,94	132,93
42	70,56	71,68	137,56	137,56	152,27	154,27	137,11	137,11
43	72,65	73,80	141,63	141,63	156,84	158,90	141,23	141,23
44	74,70	75,89	145,63	145,63	161,36	163,48	145,30	145,30
45	76,72	77,94	149,56	149,57	165,81	167,99	149,31	149,30
46	78,70	79,95	153,43	153,43	170,18	172,43	153,25	153,25
47	80,64	81,93	157,22	157,22	174,49	176,79	157,13	157,12
48	82,55	83,87	160,94	160,94	178,71	181,07	160,94	160,93
49	84,42	85,76	164,58	164,58	182,85	185,28	164,67	164,67
50	86,24	87,62	168,13	168,14	186,92	189,39	168,33	168,33

EK 8: Sahil çamı meşcereleri ölü örtü havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,02	0,01	0,02	0,02	0,38	0,97	0,86	0,86
3	0,03	0,02	0,04	0,04	0,72	1,69	1,50	1,50
4	0,06	0,04	0,07	0,07	1,02	2,24	1,99	1,99
5	0,10	0,06	0,12	0,12	1,29	2,71	2,40	2,40
6	0,16	0,10	0,18	0,18	1,55	3,11	2,77	2,77
7	0,22	0,14	0,26	0,26	1,79	3,49	3,10	3,10
8	0,30	0,19	0,36	0,36	2,02	3,85	3,42	3,42
9	0,40	0,26	0,48	0,48	2,24	4,21	3,74	3,74
10	0,51	0,34	0,62	0,63	2,46	4,56	4,05	4,05
11	0,64	0,43	0,79	0,79	2,68	4,92	4,38	4,38
12	0,78	0,53	0,97	0,97	2,90	5,30	4,71	4,71
13	0,94	0,64	1,18	1,18	3,12	5,69	5,06	5,06
14	1,12	0,76	1,40	1,40	3,36	6,10	5,42	5,42
15	1,31	0,90	1,64	1,65	3,60	6,53	5,80	5,80
16	1,52	1,04	1,90	1,91	3,85	6,98	6,21	6,21
17	1,74	1,19	2,18	2,18	4,12	7,46	6,63	6,63
18	1,97	1,36	2,47	2,47	4,40	7,97	7,08	7,08
19	2,22	1,53	2,77	2,78	4,70	8,51	7,56	7,56
20	2,48	1,71	3,09	3,10	5,01	9,08	8,07	8,07
21	2,75	1,89	3,42	3,43	5,34	9,68	8,60	8,60
22	3,03	2,09	3,77	3,78	5,68	10,31	9,16	9,16
23	3,33	2,29	4,12	4,13	6,05	10,98	9,76	9,76
24	3,63	2,49	4,49	4,50	6,43	11,68	10,38	10,38
25	3,95	2,70	4,86	4,87	6,84	12,42	11,03	11,03
26	4,27	2,91	5,25	5,26	7,26	13,19	11,72	11,72
27	4,60	3,13	5,64	5,65	7,71	13,99	12,43	12,43
28	4,94	3,35	6,04	6,05	8,17	14,83	13,18	13,18
29	5,29	3,58	6,44	6,45	8,66	15,70	13,96	13,96
30	5,64	3,80	6,86	6,86	9,16	16,61	14,76	14,76
31	6,00	4,03	7,27	7,28	9,69	17,55	15,59	15,59
32	6,36	4,26	7,70	7,70	10,23	18,51	16,46	16,46
33	6,74	4,49	8,12	8,13	10,80	19,51	17,34	17,34
34	7,11	4,73	8,55	8,55	11,38	20,54	18,26	18,26
35	7,49	4,96	8,98	8,99	11,98	21,60	19,20	19,20
36	7,88	5,19	9,42	9,42	12,60	22,68	20,16	20,16
37	8,27	5,42	9,85	9,85	13,23	23,79	21,14	21,14
38	8,67	5,66	10,29	10,29	13,88	24,92	22,15	22,15
39	9,07	5,89	10,73	10,73	14,55	26,07	23,17	23,17
40	9,47	6,12	11,16	11,16	15,23	27,25	24,22	24,22
41	9,87	6,35	11,60	11,60	15,93	28,44	25,28	25,28
42	10,28	6,58	12,03	12,03	16,64	29,65	26,35	26,35
43	10,69	6,81	12,47	12,46	17,36	30,87	27,44	27,44
44	11,11	7,03	12,90	12,89	18,09	32,11	28,54	28,54
45	11,52	7,25	13,32	13,32	18,83	33,36	29,65	29,65
46	11,94	7,48	13,75	13,74	19,58	34,62	30,77	30,77
47	12,36	7,69	14,17	14,16	20,35	35,89	31,90	31,90
48	12,78	7,91	14,58	14,57	21,11	37,16	33,03	33,03
49	13,20	8,12	14,99	14,98	21,89	38,44	34,17	34,17
50	13,62	8,33	15,40	15,39	22,67	39,73	35,31	35,31

EK 9: Sahil çamı meşcereleri ölü odun havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,05	0,04	0,04
3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,09	0,10	0,09	0,09
4	0,02	0,02	0,03	0,03	0,14	0,15	0,13	0,13
5	0,03	0,03	0,05	0,05	0,20	0,21	0,18	0,18
6	0,05	0,04	0,08	0,08	0,26	0,27	0,24	0,24
7	0,07	0,06	0,11	0,11	0,33	0,33	0,30	0,30
8	0,09	0,08	0,16	0,16	0,41	0,40	0,36	0,36
9	0,12	0,11	0,21	0,21	0,50	0,48	0,43	0,43
10	0,16	0,14	0,26	0,26	0,60	0,57	0,50	0,50
11	0,20	0,17	0,33	0,33	0,70	0,66	0,58	0,58
12	0,25	0,21	0,40	0,40	0,82	0,75	0,67	0,67
13	0,31	0,25	0,49	0,49	0,95	0,86	0,77	0,77
14	0,37	0,30	0,58	0,58	1,10	0,98	0,87	0,87
15	0,44	0,35	0,68	0,68	1,25	1,10	0,98	0,98
16	0,52	0,41	0,79	0,79	1,42	1,23	1,10	1,10
17	0,60	0,47	0,91	0,91	1,61	1,38	1,22	1,22
18	0,69	0,53	1,03	1,03	1,80	1,53	1,36	1,36
19	0,79	0,60	1,16	1,16	2,02	1,69	1,50	1,50
20	0,90	0,67	1,31	1,31	2,24	1,86	1,65	1,65
21	1,02	0,75	1,46	1,45	2,49	2,04	1,81	1,81
22	1,14	0,83	1,61	1,61	2,75	2,23	1,98	1,98
23	1,28	0,91	1,77	1,77	3,02	2,43	2,16	2,16
24	1,42	1,00	1,94	1,94	3,31	2,64	2,35	2,35
25	1,57	1,09	2,12	2,12	3,62	2,86	2,54	2,54
26	1,73	1,18	2,30	2,30	3,95	3,08	2,74	2,74
27	1,89	1,28	2,49	2,49	4,29	3,32	2,95	2,95
28	2,07	1,38	2,68	2,68	4,64	3,56	3,17	3,17
29	2,25	1,48	2,88	2,88	5,01	3,81	3,39	3,39
30	2,44	1,59	3,08	3,08	5,40	4,07	3,62	3,62
31	2,64	1,69	3,29	3,29	5,81	4,34	3,85	3,85
32	2,85	1,80	3,50	3,50	6,23	4,61	4,09	4,09
33	3,06	1,91	3,71	3,71	6,66	4,88	4,34	4,34
34	3,28	2,02	3,92	3,92	7,11	5,17	4,59	4,59
35	3,51	2,13	4,14	4,14	7,57	5,45	4,85	4,85
36	3,74	2,25	4,36	4,36	8,05	5,75	5,11	5,11
37	3,98	2,36	4,58	4,58	8,53	6,04	5,37	5,37
38	4,23	2,48	4,80	4,80	9,04	6,34	5,64	5,64
39	4,48	2,59	5,02	5,02	9,55	6,64	5,91	5,91
40	4,74	2,71	5,24	5,24	10,07	6,95	6,18	6,18
41	5,00	2,82	5,46	5,46	10,61	7,26	6,45	6,45
42	5,27	2,93	5,68	5,68	11,16	7,56	6,72	6,72
43	5,54	3,05	5,90	5,90	11,71	7,87	7,00	7,00
44	5,81	3,16	6,12	6,12	12,28	8,18	7,27	7,27
45	6,09	3,28	6,33	6,33	12,85	8,49	7,55	7,55
46	6,38	3,39	6,55	6,55	13,43	8,80	7,82	7,82
47	6,66	3,50	6,76	6,76	14,02	9,11	8,10	8,10
48	6,95	3,61	6,97	6,97	14,61	9,42	8,37	8,37
49	7,24	3,72	7,18	7,18	15,21	9,72	8,64	8,64
50	7,54	3,82	7,38	7,38	15,81	10,02	8,91	8,91

EK 10: Sahil çamı meşcereleri toprak organik karbonu havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
1	3,48	3,48	3,48	3,48	3,49	3,49	3,49	3,49
2	3,48	3,48	3,49	3,49	3,71	3,70	3,68	3,68
3	3,48	3,48	3,50	3,50	3,88	3,86	3,81	3,81
4	3,49	3,48	3,51	3,51	4,00	3,97	3,90	3,90
5	3,50	3,49	3,54	3,54	4,11	4,06	3,97	3,97
6	3,52	3,50	3,57	3,57	4,19	4,13	4,03	4,03
7	3,54	3,52	3,61	3,62	4,27	4,20	4,08	4,08
8	3,57	3,55	3,66	3,66	4,33	4,25	4,13	4,13
9	3,60	3,57	3,72	3,72	4,40	4,31	4,17	4,17
10	3,64	3,61	3,78	3,79	4,45	4,36	4,22	4,22
11	3,69	3,65	3,86	3,86	4,51	4,42	4,26	4,26
12	3,74	3,69	3,93	3,94	4,57	4,48	4,31	4,31
13	3,79	3,74	4,02	4,02	4,63	4,54	4,36	4,36
14	3,85	3,80	4,11	4,11	4,68	4,60	4,41	4,41
15	3,92	3,85	4,20	4,21	4,74	4,66	4,46	4,46
16	3,99	3,92	4,30	4,31	4,80	4,73	4,52	4,52
17	4,07	3,99	4,40	4,41	4,86	4,80	4,57	4,57
18	4,15	4,06	4,50	4,52	4,93	4,88	4,63	4,63
19	4,23	4,14	4,61	4,63	4,99	4,95	4,70	4,70
20	4,32	4,22	4,72	4,74	5,06	5,03	4,76	4,76
21	4,41	4,30	4,84	4,86	5,13	5,11	4,83	4,83
22	4,50	4,39	4,96	4,98	5,20	5,20	4,90	4,90
23	4,60	4,48	5,08	5,10	5,27	5,29	4,98	4,98
24	4,69	4,57	5,20	5,22	5,34	5,38	5,06	5,06
25	4,79	4,67	5,32	5,34	5,42	5,48	5,14	5,14
26	4,90	4,77	5,45	5,47	5,49	5,57	5,22	5,22
27	5,00	4,87	5,58	5,60	5,57	5,68	5,31	5,31
28	5,11	4,97	5,71	5,73	5,65	5,78	5,40	5,40
29	5,21	5,08	5,84	5,87	5,73	5,89	5,49	5,49
30	5,32	5,19	5,98	6,01	5,81	6,00	5,58	5,58
31	5,43	5,29	6,12	6,15	5,90	6,12	5,68	5,68
32	5,55	5,41	6,27	6,29	5,99	6,23	5,78	5,78
33	5,66	5,52	6,42	6,44	6,07	6,36	5,89	5,89
34	5,78	5,63	6,57	6,59	6,16	6,48	6,00	6,00
35	5,89	5,75	6,72	6,74	6,25	6,61	6,11	6,11
36	6,01	5,87	6,88	6,90	6,35	6,74	6,22	6,22
37	6,13	5,99	7,04	7,06	6,44	6,88	6,34	6,34
38	6,25	6,11	7,21	7,22	6,53	7,02	6,46	6,46
39	6,37	6,23	7,38	7,39	6,63	7,16	6,58	6,58
40	6,50	6,35	7,55	7,56	6,73	7,30	6,71	6,71
41	6,62	6,48	7,73	7,74	6,83	7,45	6,84	6,84
42	6,75	6,60	7,91	7,92	6,93	7,61	6,97	6,97
43	6,88	6,73	8,10	8,10	7,03	7,76	7,11	7,11
44	7,01	6,86	8,29	8,29	7,14	7,92	7,25	7,25
45	7,15	6,99	8,48	8,48	7,24	8,09	7,39	7,39
46	7,28	7,12	8,68	8,68	7,35	8,25	7,53	7,53
47	7,42	7,26	8,88	8,88	7,45	8,42	7,68	7,68
48	7,55	7,39	9,08	9,08	7,56	8,60	7,83	7,83
49	7,69	7,52	9,29	9,28	7,67	8,77	7,99	7,99
50	7,84	7,66	9,50	9,49	7,78	8,95	8,15	8,14

EK 11: Sahil çamı meşcereleri ekosistem karbonu havuzunda tahmin edilen miktarlar (t C/ha).

Meşcere Yaşı	Simülasyon 1 [CBM-CFS3]	Simülasyon 2 [CBM-CFS3]	Simülasyon 3 [CBM-CFS3]	Simülasyon 4 [CBM-CFS3]	Simülasyon 1 [FBDC]	Simülasyon 2 [FBDC]	Simülasyon 3 [FBDC]	Simülasyon 4 [FBDC]
0	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
1	3,83	3,84	4,16	4,16	12,50	12,62	11,60	11,60
2	4,25	4,25	4,97	4,97	14,01	14,74	13,48	13,48
3	4,74	4,74	5,91	5,91	15,56	16,66	15,18	15,18
4	5,33	5,32	7,04	7,04	17,16	18,52	16,83	16,83
5	6,03	6,01	8,37	8,37	18,86	20,40	18,50	18,50
6	6,85	6,81	9,92	9,92	20,66	22,36	20,23	20,23
7	7,78	7,73	11,68	11,68	22,60	24,44	22,08	22,07
8	8,84	8,76	13,67	13,67	24,69	26,66	24,04	24,04
9	10,02	9,91	15,87	15,87	26,94	29,04	26,16	26,16
10	11,31	11,18	18,29	18,30	29,36	31,61	28,43	28,43
11	12,72	12,56	20,93	20,93	31,95	34,36	30,87	30,87
12	14,25	14,05	23,77	23,78	34,74	37,30	33,48	33,48
13	15,90	15,65	26,82	26,83	37,71	40,45	36,28	36,28
14	17,66	17,36	30,07	30,08	40,88	43,81	39,25	39,25
15	19,53	19,17	33,51	33,52	44,24	47,37	42,41	42,41
16	21,50	21,07	37,13	37,15	47,80	51,14	45,76	45,76
17	23,57	23,07	40,92	40,94	51,56	55,11	49,29	49,29
18	25,74	25,17	44,88	44,90	55,50	59,29	53,00	53,00
19	28,00	27,34	49,00	49,02	59,63	63,67	56,89	56,89
20	30,35	29,60	53,26	53,28	63,95	68,25	60,95	60,95
21	32,78	31,93	57,66	57,69	68,44	73,01	65,18	65,18
22	35,29	34,32	62,19	62,21	73,10	77,96	69,57	69,57
23	37,86	36,78	66,82	66,85	77,93	83,08	74,12	74,12
24	40,50	39,29	71,56	71,59	82,90	88,36	78,81	78,81
25	43,19	41,85	76,39	76,42	88,02	93,80	83,64	83,64
26	45,94	44,46	81,31	81,34	93,27	99,39	88,60	88,60
27	48,74	47,10	86,29	86,32	98,65	105,10	93,68	93,67
28	51,58	49,78	91,34	91,38	104,14	110,94	98,86	98,86
29	54,45	52,48	96,44	96,47	109,74	116,89	104,14	104,14
30	57,36	55,21	101,58	101,61	115,42	122,94	109,52	109,51
31	60,28	57,95	106,75	106,78	121,19	129,07	114,97	114,96
32	63,23	60,70	111,94	111,97	127,03	135,28	120,48	120,48
33	66,20	63,46	117,15	117,17	132,93	141,56	126,06	126,05
34	69,17	66,21	122,35	122,38	138,87	147,88	131,68	131,67
35	72,15	68,97	127,56	127,58	144,85	154,25	137,33	137,33
36	75,14	71,71	132,74	132,76	150,86	160,65	143,01	143,01
37	78,12	74,45	137,91	137,93	156,89	167,07	148,71	148,71
38	81,09	77,16	143,04	143,06	162,93	173,49	154,42	154,42
39	84,06	79,86	148,15	148,17	168,97	179,91	160,13	160,12
40	87,01	82,53	153,21	153,23	175,00	186,33	165,82	165,82
41	89,95	85,18	158,23	158,23	181,01	192,72	171,50	171,50
42	92,86	87,80	163,19	163,19	186,99	199,08	177,15	177,15
43	95,76	90,39	168,09	168,09	192,95	205,41	182,77	182,77
44	98,63	92,94	172,93	172,93	198,86	211,69	188,36	188,35
45	101,48	95,46	177,70	177,70	204,73	217,93	193,89	193,89
46	104,30	97,94	182,40	182,39	210,54	224,10	199,38	199,37
47	107,08	100,37	187,02	187,01	216,30	230,21	204,80	204,80
48	109,83	102,77	191,57	191,56	222,00	236,25	210,17	210,16
49	112,55	105,13	196,04	196,02	227,63	242,22	215,47	215,46
50	115,24	107,43	200,42	200,40	233,19	248,10	220,70	220,69

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

DURUSU KUMUL AĞAÇLANDIRMASINDA TOPRAKTAKİ ORGANİK KARBON MİKTARININ TAHMİNİNDE BAZI MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

ORİJİNALLİK RAPORU

%5	%5	%1	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%1
3	avesis.istanbulc.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	www.akademikbilgisistemi.com İnternet Kaynağı	<%1
5	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	katalog.istanbul.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	app.trdizin.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<%1