T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ORMANCILIK FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI SALIM VE TUTUMLARININ FARKLI ÖLÇEKLERDE CBM-CFS3 MODELİ İLE SİMÜLASYONU

Ufuk ÖZKAN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf SERENGİL

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 7.06.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Yusuf SERENGİLİ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAKI
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Orman Fakültesi

Doç. Dr. Fatma Ayçim TÜRER BAŞKAYA
İstanbul Teknik Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi

Prof. Dr. Adnan UZUN
Işık Üniversitesi
Mimarlık Fakülte

Doç. Dr. Mehmet ÖZCAN
Düzce Üniversitesi
Orman Fakülte

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, 1059B141600949 numaralı TÜBİTAK 2214-A Yurt Dışı Araştırma Burs Programı (Doktora öğrencileri için) ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Ormancılık Faaliyetlerinden Kaynaklanan Sera Gazı Salım ve Tutumlarının Farklı Ölçeklerde CBM-CFS3 Modeli ile Simülasyonu" başlıklı bu çalışma İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği programında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında yol göstericiliği, öğreticiliği, katkıları ve desteği ile bu noktaya gelmemi sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Yusuf SERENGİL'e teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmalarım süresince desteklerinden, tezime yüksek derecede katkı sağlayan eleştirilerinden ve desteklerinden ötürü aynı zamanda Tez İzleme Komitesi Üyeleri olan Sayın Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK hocam ile Sayın Doç. Dr. Fatma Ayçim TÜRER BAŞKAYA'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım sırasında destekleri için Doç Dr. İbrahim YURTSEVEN, Dr. Öğr. Üyesi Betül UYGUR ERDOĞAN ve Ümit KILIÇ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda bu denli ayrıntılı bir araştırmanın çıkması elbette ki ciddi bir araştırma ve buna bağlı olarak kaynak gerektirmekteydi. Bu süreçte doktora çalışmamı 2214-A Doktora Sırası Yurtdışı Araştırma Bursu ile bir yıl süre ile Kanada'da Pasifik Ormancılık Merkezinde tezimle ilgili araştırma yapmama fırsat sunan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Çalışmamı gerçekleştirmek için verdikleri destek ve sağladıkları veri setleri için Orman Genel Müdürlüğü Dış İlişkiler, Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Çalışmalarımın yurt dışı kısmında TÜBİTAK 2214-A Programı Yurt Dışı Danışmanım olarak bana her türlü desteği sunan Sayın Dr. Werner KURZ'a ve ekibinde yer alan Stephen KULL, Michael MAGNAN, Eric NEILSON ve Laurie McCORMICK, Carolyn SMYTH, Scott MORKEN, Gary ZHANG, Max FELLOWS, Mark HAFHER ile kıymetli Maureen SCOTT ve Colin HEGAN'a yardımlarından ve harika dostluklarından ötürü çok teşekkür ederim.

Son olarak bugüne kadar ilerlememi sağlayan, bana her türlü desteği veren, iyi ya da kötü gün demeden daima motivasyonumu yüksek tutan; yaptıkları maddi ve manevi fedakarlıklarla bana çıktığım yolda ilerleme şansı sunan annem Özcan ÖZKAN, babam İlhan ÖZKAN, ağabeyim Ümit ÖZKAN'a minnettarım. Onlar olmadan bugünlere gelemezdim.

Haziran 2021 Ufuk ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvi**
SUMMARY ..... **xviii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **5**
3. MALZEME VE YÖNTEM **13**
3.1. MALZEME 13
3.1.1. Araştırma Alanı 13
3.1.1.1. Küçük Ölçek Araştırma Alanı 13
3.1.1.2. Büyük Ölçek Araştırma Alanları 14
3.2. YÖNTEM 16
3.2.1. CBM-CFS3 Avrupa ve Kanada Veritabanları 16
3.2.2. Verilerin Toplanması 16
3.2.2.1. Küçük Ölçek Çalışmalarına Ait Verilerin Toplanması 16
3.2.2.2. Büyük Ölçek Çalışmalarına Ait Verilerin Toplanması 17
3.2.3. Hesaplama Yöntemleri 18
3.2.3.1. Küçük Ölçek Simülasyonları İçin Yapılan Hesaplama Yöntemi *18*
3.2.3.2. Büyük Ölçek Simülasyonları için Kullanılan Hesaplama Yöntemi 20
BULGULAR **24**
3.3. KÜÇÜK ÖLÇEK ARAŞTIRMASI: BELGRAD ORMANI ARAŞTIRMA ALANI 24
3.3.1. Belgrad Ormanı Küçük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları 24
3.4. BÜYÜK ÖLÇEK UYGULAMALARI: ANKARA, ANTALYA, İSTANBUL VE TRABZON ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜKLERİ 30
3.4.1. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü 31

3.4.1.1. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları 32

3.4.2. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü 43

3.4.2.1. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları 45

3.4.3. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü 52

3.4.3.1. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları 54

3.4.4. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü 61

3.4.4.1. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları 64

3.4.5. Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüklerinin Karbon Havuzları Bakımından İncelenmesi 72

3.4.6. Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüklerinde 2014-2018 Yılları Arasında Yıllık ETA (Odun Üretimi – Hasılat) İle Meydana gelen Kayıpların Zamansal Değişimi 75

4. TARTIŞMA VE SONUÇ 79

5.2. TARTIŞMA 79

5.3. SONUÇ 82

KAYNAKLAR 86

EKLER 94

ÖZGEÇMİŞ 95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Orman ekosisteminde karbon döngüsü....9

Şekil 3.1: İstanbul Belgrad Ormanı, Küçük Ölçek Deneme Sahası....13

Şekil 3.2: A) Ankara, B) Antalya, C) Trabzon ve D) İstanbul Orman Bölge Müdürlükleri ve ormanlık alanları....14

Şekil 3.3: Seçilmiş olan orman bölge müdürlüklerinin Türkiye haritası üzerinde konumları....15

Şekil 3.4: Türkiye tüm orman bölge müdürlükleri haritası (2015 Yılı)....15

Şekil 3.5: Yıllık ortalama artım değerleri ve gerçek büyüme modeli farkı....23

Şekil 3.6: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Toprak Üstü Biyokütle Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....25

Şekil 3.7: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Toprak Üstü Biyokütle Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....26

Şekil 3.8: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Toprak Altı Biyokütle Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....26

Şekil 3.9: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Toprak Altı Biyokütle Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....26

Şekil 3.10: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....28

Şekil 3.11: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....28

Şekil 3.12: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....29

Şekil 3.13: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....29

Şekil 3.14: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....29

Şekil 3.15: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....29

Şekil 3.16: Türkiye Orman Bölge Müdürlüklerinin yıllar bazında alansal değişimleri.....30

Şekil 3.17: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait ormanlık alanları zamansal değişimi 31

Şekil 3.18: 2015 Yılı itibarı ile Ankara Orman Bölge Müdürlüğüne ait ormanlık alanları gösterir harita.....32

Şekil 3.19: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.. 34

Şekil 3.20: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....35

Şekil 3.21: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....35

Şekil 3.22: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi 36

Şekil 3.23: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....37

Şekil 3.24: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....37

Şekil 3.25: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi 38

Şekil 3.26: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....39

Şekil 3.27: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....39

Şekil 3.28: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi 40

Şekil 3.29: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....40

Şekil 3.30: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....41

Şekil 3.31: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi 41

Şekil 3.32: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....42

Şekil 3.33: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....42

Şekil 3.34: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait ormanlık alanların zamansal değişim**i** 43

Şekil 3.35: 2015 Yılı itibarıyla Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait ormanlık alanları gösterir harita....45

Şekil 3.36: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi 46

Şekil 3.37: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....46

Şekil 3.38: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki 46

Şekil 3.39: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi 47

Şekil 3.40: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....47

Şekil 3.41: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....48

Şekil 3.42: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi 48

Şekil 3.43: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....49

Şekil 3.44: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....49

Şekil 3.45: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi 50

Şekil 3.46: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....50

Şekil 3.47: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....50

Şekil 3.48: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişim 51

Şekil 3.49: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....51

Şekil 3.50: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....52

Şekil 3.51: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü yıllara göre toplam alan değişimi....52

Şekil 3.52: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne ait ormanlık alanları gösterir harita (2015 Yılı)....53

Şekil 3.53: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi....55

Şekil 3.54: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....55

Şekil 3.55: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....56

Şekil 3.56: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi....56

Şekil 3.57: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....57

Şekil 3.58: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....57

Şekil 3.59: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi....58

Şekil 3.60: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....58

Şekil 3.61: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....58

Şekil 3.62: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi....59

Şekil 3.63: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....59

Şekil 3.64: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki....60

Şekil 3.65: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi....60

Şekil 3.66: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki....61

Şekil 3.67: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....61

Şekil 3.68: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü yıllara göre toplam alan değişimi.....62

Şekil 3.69: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait ormanlık alanları gösterir harita (2015 Yılı).....62

Şekil 3.70: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.....64

Şekil 3.71: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....65

Şekil 3.72: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve kanada veritabanı arasındaki ilişki.....65

Şekil 3.73: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.....66

Şekil 3.74: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....66

Şekil 3.75: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....66

Şekil 3.76: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi.....67

Şekil 3.77: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....67

Şekil 3.78: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....68

Şekil 3.79: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi.....68

Şekil 3.80: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....69

Şekil 3.81: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....69

Şekil 3.82: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi.....70

Şekil 3.83: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.....70

Şekil 3.84: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.....71

Şekil 3.85: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre yapılan hasılat miktarları 76

Şekil 3.86: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre hasılattan kaynaklanan emisyon miktarları (Avrupa Veritabanı).....77

Şekil 3.87: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre hasılattan kaynaklanan emisyon miktarları (Kanada Veritabanı).....78

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları ile CBM-CF3 Modellemesi Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbon Havuzu sonuçları 25

Tablo 3.2: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) Arazi Çalışmaları ile CBM-CF3 Modellemesi Ölü Odun, Ölü Örtü ve Toprak Karbon Havuzu sonuçları.....27

Tablo 3.3: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II sonuçları (1 Hektara göre). 33

Tablo 3.4: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre).....33

Tablo 3.5: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre).....33

Tablo 3.6: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II sonuçları (1 Hektara göre). 43

Tablo 3.7: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre).....44

Tablo 3.8: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre).....44

Tablo 3.9: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II sonuçları (1 Hektara göre) 53

Tablo 3.10: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre).....54

Tablo 3.11: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre).....54

Tablo 3.12: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II sonuçları (1 Hektara göre). 63

Tablo 3.13: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre). 63

Tablo 3.14: Trabzon Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 sonuçları (1 Hektara göre). 63

Tablo 3.15: Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Seviye-II sonuçlarını içeren tablo 72

Tablo 3.16: Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Avrupa Veritabanı sonuçlarını içeren tablo 73

Tablo 3.17: Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Kanada Veritabanı sonuçlarını içeren tablo 74

Tablo 3.18: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre yapılan hasılat miktarları 76

Tablo 3.19: Hasılattan kaynaklanan emsiyonları gösteren sonuçlar (CBM-CFS3 Avrupa Veri tabanı) 77

Tablo 3.20: Hasılattan kaynaklanan emsiyonları gösteren sonuçlar (CBM-CFS3 Kanada Veri tabanı) 77

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

t : Ton
C : Karbon
ha : Hektar
m³ : Metreküp

Kısaltmalar **Açıklama**

IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
t C/ha : 1 hektar alana düşen ton karbon miktarı
t C : Toplam miktarı, ton cinsinden.
ETA : Ormancılık Faaliyetleri Sonucu Üretim
GHG : Green House Gas – Sera Gazı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ORMANCILIK FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI SALIM VE TUTUMLARININ FARKLI ÖLÇEKLERDE CBM-CFS3 MODELİ İLE SİMÜLASYONU

Ufuk ÖZKAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Yusuf SERENGİL

İklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyon hesaplamaları gittikçe önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu azaltmada en önemli kaynağımız sahip olduğumuz ormanlarımızdır. Zira ormancılıkta azaltım beraberinde ek faydaları da sağlamaktadır. Ormanlarda gerçekleştirilen her türlü faaliyet ulusal ya da bölgesel olarak doğrudan iklim değişikliği üzerinde üretilmiş strateji ve politikalara etki etme potansiyeline sahiptir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında sera gazı envanter raporlarını ulusal düzeyde hazırlamaktayız ve ormancılık bu envanter içinde önemli bir sektör olarak yer almaktadır. Sera gazı envanter hesapları şeffaf, tekrarlanabilir, doğruyu yansıtan ve olabildiğince detaylı bir yöntem izlenerek yapılmalıdır. Günümüz gelişen koşullarında bilgisayar yazılımları bu hesapları hatasız ve kolay bir biçimde yapabilmemize imkan vermektedir. Halen ülkemizin IPCC kılavuzuna göre yapılan ulusal hesapları Seviye-II kapsamında yer almaktadır. CBM-CFS3 modeli sera gazı hesaplamalarını hem nokta, hem proje hem de ulusal ölçekte Seviye III düzeyine çekmemizi, dahası doğrulayabilmemizi sağlayacaktır. Tez kapsamında Türkiye'nin Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüklerinde denenmiş olan CBM-CF3 modeli değişik ölçeklerde ormancılık faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı salım ve tutumlarının incelenmesi konusunda önemli bir ilk adım olarak görülmelidir. Ülkemizdeki bu ilk uygulamanın geliştirilerek ve yaygınlaştırılarak ülkemiz ormancılığına ve iklim değişikliği ile mücadeleye destek vereceği düşüncesindeyiz.

Haziran 2021, 113 sayfa.

Anahtar kelimeler: cbm-cfs3, karbon modelleme, sera gazı, emisyon

SUMMARY

Ph.D. THESIS

Simulation of Greenhouse Gas Emissions and Removals of the Forestry Activities with CBM-CFS3 Model in Various Scales

Ufuk ÖZKAN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Yusuf SERENGİL

Research on greenhouse gas emission and removals have become a significant topic in combatting climate change. Forests are the most effective tools for reducing the greenhouse gas concentrations in the atmosphere since forestry provides co-benefits along with reduction. All activities that we do in the forests have significant potential to affect our national or regional strategies and policies on climate change. Within the scope of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Turkey has been preparing greenhouse gas inventory reports at the national level. Inside this report, forestry takes part as a significant sector. Greenhouse gas inventory calculations must be transparent, repeatable, accurate and, supposed to be prepared with a detailed method as much as possible. In today's developing conditions, computer software enables us to make these calculations easy and faultless. Currently, Turkey's National Inventory Reports are prepared in Tier-II according to the IPCC guidelines. The CBM-CFS3 model will improve the greenhouse gas calculations to Tier III at both, project and national scales. The CBM-CFS3 model, which has been tested in Ankara, Antalya, Istanbul and Trabzon Regional Directorate of Forestry in Turkey within the scope of the thesis, should be seen as a crucial first step in observing greenhouse gas emissions and removals from forestry activities in different scales. We believe that this first application in Turkey will be developed and disseminated to support our country's forestry and efforts on climate change mitigation.

June 2021, 113 pages.

Keywords: cbm-cfs3, forest management, carbon, emission, ghg

1. GİRİŞ

Tarih boyunca ormanlar her dönemde insanlık için önemli bir kaynak olmuştur ve bu kaynağın kullanımı toplumların kalkınmasında ve dünya üzerindeki yayılışlarında ciddi ölçüde etki sahibidir (Zon, R., 1920). Ormancılık sektörü; önceleri odun hammaddesi üretimi odaklıyken günümüzde toplumun çok çeşitli ihtiyaçlarını gideren bir sektör haline gelmiştir. Su üretimi, karbon tutma, biyolojik çeşitliliği desteklemesi, rekreasyon ve benzeri faydalar bakımından toplum için önemi büyüktür (Weiss, G., 2013).

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli tarafınca da (IPCC, 2007) vurgulamış olduğu üzere ormanların bilimsel yöntemlere dayalı ve toplum refahını artırma amacıyla kullanımı sağlanmalıdır. Bu kapsamda ormanların iklim değişikliğini önlemeye yönelik bir araç konumunda kullanımı önem kazanmaktadır (FAO, 2005). Özellikle orman ekosisteminin çeşitli ormancılık faaliyetlerinin de etkisiyle karbon tutma özelliğinin küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin engellenmesinde, etkilerinin azaltılmasında ve çeşitli uyum stratejileri geliştirilmesindeki rolünün büyük olduğu ama aynı zamanda yanlış müdahalelerin de zararın artması konusunda etken olabileceği bilimsel olarak birçok çalışma ile ortaya konulmuştur (Case ve diğ., 2021; Hereş ve diğ., 2021; Teobaldelli ve diğ., 2020; Baccini ve diğ., 2012; Harris ve diğ., 2012; Van der Werf ve diğ., 2009). Dolayısı ile ormanlardan doğru bir şekilde yararlanmak hem bu kaynağın insanlar için sürekliliğini sağlamak hem de ekolojik dengenin korunması açısından canlı yaşamını destekleyici nitelikte yönetilmesi en büyük gerekliliktir. Bu noktada ormanlardan odun hammaddesi üretilmesi ve ormanın ekolojik işlevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirmesi amacıyla toplum, kişi ya da devlet yararına ormancılar tarafından uygulanan yönetim metotlarına kısaca ormancılık faaliyetleri demekteyiz (Young ve Giese 2002). Bu faaliyetler; insanların doğa ile olan etkileşimlerini düzenleme ve ihtiyaçlarını gidermek amacıyla ormanlardan optimum faydalanmayı amaçlayan ormanları işletme biçimleridir (Bettinger ve diğ., 2017).

İlk başlarda sadece yakacak odun üretimi, gemi ve tekne yapımı, ev yapımı, savaş araç gereçleri yapımında ve çeşitli yemişler ile besin kaynağı olarak kullanılan ormanlar 1800'lü yılların sonlarında gelindiğinde ve Dünya üzerinde "Sanayi Devrimi" süreci ile gelişen teknoloji ve

artan ihtiyaçlar dahilinde artan nüfus, şehirleşme ve yiyecek ihtiyacı ormanların birçok sebeple tahribine yol açmıştır (FAO ve UNEP, 1995).

Günümüzde enerji üretimi birçok kaynaktan sağlanabilmektedir. Bu kaynakların bazıları yenilenebilir kaynaklar olarak isimlendirdiğimiz ve enerji eldesi sırasında hiçbir karbon içerikli gaz salımı yapmayan su, rüzgar, güneş radyasyonu ya da atom tepkimeleri gibi kaynaklardır. Bunlara ek olarak fosil kaynaklar olarak isimlendirdiklerimiz ise kullandıkça tükenen, enerji eldesi için yakılmaya ihtiyaç duyan ve yandığında yapısındaki karbonlu bileşikleri atmosfere gaz olarak geri veren odun, kömür, petrol, doğal gaz gibi kaynaklardır (Viswanathan, B., 2016).

Fosil yakıtların kullanımı ile hava kalitesi, gıda miktarı ve güvencesi, içilebilir ve kullanılabilir su miktarı ve kalitesi ile canlı çeşitliliği arasında bir bağlantı vardır (Morris, 1976).

Enerji üretimi amacıyla fosil yakıtların aşırı ve plansız kullanımı, hızlı sanayileşme ve şehirleşme, yanlış arazi kullanımı ve arazi değişiminin kontrolsüzce gerçekleştirilmesi sonucu özellikle fosil yakıta dayanan sanayinin ve doğal kaynak tüketiminin fazlaca olduğu yüksek nüfusa sahip ülke ve şehirlerde hava, toprak ve su kirliliği oluşturmuş; kırsal da ise kalitesi bozulan su ve toprağın etkisi ile ve zarar gören ekosistemlerde tarımsal üretimin ve ürün çeşitliliğinin azalması, kaynak yetersizliği ve çeşitli gıda sorunlarına sebebiyet vermiştir (Solarin, 2020; Mardani ve diğ., 2019; Waheed ve diğ., 2019; Elheddad ve diğ., 2021).

Fosil yakıtların tüketilmesi sonucu açığa çıkan karbon bileşikli gazlar atmosfere karışarak atmosferdeki birleşim konsantrasyonlarını etkilemekte ve sonucunda mevcut oranlarının artmasına sebep olarak atmosfer katmanlarının güneş ışınlarına karşı olan etkileşiminde daha fazla ısı tutması sonucu küresel ısınmaya sebep olmasından dolayı kritik bir konumda yer almaktadır. 1990'lı yıllara gelindiğinde bilimsel araştırmalarla gerçekliği kabul edilen bir olgu olmaya başlayan küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma tanımları ile birlikte küresel ısınmayı doğrudan etkileyen Sera Gazları tanımları ortaya çıkmıştır (IPCC, 2005).

Kyoto Protokolü'nce (1998) yapılan Sera Gazları tanımında en büyük etkinin karbon içerikli gazlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Bunun üzerine küresel iklim değişikliği süreci atmosferdeki karbon içerikli gazların tespiti ile takip edilebilir kılınmıştır. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (2004) insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %56'sı fosil yakıt kullanımında ortaya çıkan karbondioksite ait olduğunu ve ormansızlaşmanın da %17'lik bir paya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Orman ekosistemlerinin en önemli elemanı olan çok yıllık odunsu bitkiler yapılarında gerçekleştirdikleri fotosentez sonucu atmosferdeki karbonun bir kısmını kendi dokularında bağlarlar ve bunun sayesinde büyümelerini gerçekleştirirler. Bu büyüme hacim artışı yani biyokütle artışı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca bu süreç ormanların yönetim biçimleri ile doğrudan etkilenebilir ve arttırılabilir ya da azaltabilir bir yapı göstermektedir (Bellassen ve Luyssaert, 2014; Liski ve diğ., 2001; Birdsey ve diğ., 2000). Dolayısıyla orman ekosistemlerinin karbon tutma fonksiyonu; orman yönetim biçimleri ve onun etkilediği biyokütle miktarı ile doğrudan ilişkilidir (Ryan ve diğ., 2010).

Günümüzde değişen iklim koşulları ve orman ürünlerine olan talep doğrultusunda ormanlardan yapılacak olan faydalanmanın yüksek verimlilikte ve ormanın sağlığını koruyarak gerçekleştirilmesi için ormanların yönetiminin planlanmasına ihtiyaç vardır. Ürün eldesinin yanında meydana gelen orman bozulmalarının iyileştirilebilmesi çalışmalarında da ormancılık faaliyetleri ve orman yönetimi birincil rolü üstlenmektedir (Janowiak ve diğ., 2017).

Mackey ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada söyledikleri üzere ileriye yönelik belirlenecek politikalarda iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması amacıyla yapılacak ormancılık faaliyetleri ile orman yönetimin planlanmasının ormanlardaki karbon stoklarının korunması ve arttırılabilmesi sebebiyle bu konuda araştırmacıların elinde en önemli araçlardan biri olduğunu söylemektedirler.

Gelecek yıllarda iklim değişikliği senaryolarının da işaret ettiği düzeyde köklü ve ciddi bir iklim sorunu ile karşı karşıya kaldığımızda (UNFCCC, 2016b) bu durumdan en çok zarar görecek olan ekosistemlerden birisi de yine ormanlar olacaktır. Bu süreç içerisinde ormanlık alanların korunumu ve iyileştirilmesi, tahribatlarının önlenmesi ya da azaltılması gibi konular iklim değişikliğine uyum sağlama ve önleme faaliyetleri kapsamında önem kazanacaktır. Bu faaliyetlerin yürütülebilmesi için de orman yönetiminin biyoçeşitlilik, ekosistem fonksiyonelliği, ülke politikaları, yerel halkın istek ve beklentileri ile ekonomik amaçlar arasında optimum bir denge kurulması şarttır. Nitekim, Williams (2016) ile Seidl (2017) yaptıkları çalışmalarda ormanlık ekosistemlerin değişen çevresel ve klimatik koşullar neticesinde karbon tutma kapasitesi ve ayrışma süreçleri bakımından büyük bir risk altında olduğunu söylemektedirler. Tüm bu risklere rağmen yine de orman ekosistemleri sahip oldukları yüksek dayanıklılıkları ve karbon tutma kapasiteleri iklim değişikliğine karşı koymada en kritik öneme sahiplerdir (Fargione ve diğ., 2018; Schulze ve diğ. 2018).

Ormanların yoğun bir şekilde odun üretimi amacı ile kullanılması; su koruma, karbon tutma, biyoçeşitliği destekleme ve toprak koruma gibi başkaca fonksiyoneller ile çelişebilir, ancak bu çelişme durumu fonksiyonel ve doğallığı koruyan bir ormancılık yönetim anlayışı ile önlenebilir ve tüm fonksiyonlar arası optimum bir denge kurularak yönetim planı oluşturulabilir. Bu yönetim planının ve sürecinin oluşturulması sırasında en önemli ve hayati olan husus da etkilenici grupların da söz sahibi olduğu katılımcı bir süreç ile fonksiyon analizi yapılması ve uzmanların belirlediği multi-disipliner bir orman yönetim planının geliştirilmesidir.

Bugün ülkemizde gerçekleştirilen ekosistem tabanlı fonksiyonel ormancılık anlayışının orman fonksiyonları arasındaki ilişkinin ilgili uzmanlarca incelenmiş, projelerle desteklenmiş ve olabildiğince en yüksek faydayı sağlamaya çalışan tavsiyeleri ile güncellenmesi en büyük ihtiyaç ve gerekliliktir.

Bu doktora tezi kapsamında, proje, bölge ve ulusal ölçekteki karbon hesaplamalarında kullanılabilecek en önemli uluslararası karbon modellerinden biri olan CBM-CFS3'ün ülkemiz koşullarına uyarlanabilmesi için bir deneme çalışması gerçekleştirilmiştir. Amaç söz konusu modelin uyarlanabilirliğinin ve tahmin kapasitesinin ortaya konulmasıdır.

2. GENEL KISIMLAR

Ormanlar sahip oldukları ekolojik özellikler bakımından birçok fayda sağlamaktadırlar. Bu sebeple ormanlarda yapılacak ölçümler gittikçe önem kazanmış ve günümüzde de detaylandırılmaya ve hassaslaştırılmaya çalışılmaktadır. Ancak bu faydalar küresel iklim değişikliğinin etkileri ile zarar görmekte ya da değişebilmektedir (Brown, 2002). Fakat tüm bu kırılganlığa rağmen ormanlık alanların iklim değişikliği ile mücadelede ve etkilerinin azaltılması konusunda pozitif etkilere sahip olduğu belirli belirsizliklere rağmen tahmin edilmektedir. Bu pozitif reaksiyonları daha iyi yorumlamak ve değerlendirebilmek için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Heimann ve Reichstein, 2008).

Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO) sektöründeki ormanlar ve ilgili ekosistemler, iklim değişikliğinin azaltılmasında önemli bir role sahiptir ve karbondioksit ve diğer sera gazlarının (GHG'ler) kaynakları veya yutakları olabilirler. Stokların ve yıllık değişimlerin tahmini, katsayıları, denklemleri ve değişen karmaşıklık hesaplamalarını içeren bir yapıdadır. Yapılan hesaplamaların uluslararası kabul edilmiş bir yöntem ve şeffaflık içerisinde yapılması amacıyla; Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), bu hesaplamalar için üç yaklaşım seviyesi tanımlamıştır. IPCC'ce organize edilmiş bilimsel çalışmaların sonucunda üretilmiş olan küresel varsayılan değerleri kullanarak Seviye-I hesaplama, çalışılan ülkenin geliştirmiş olduğu ve ülkesel ölçekte geliştirilmiş ulusal katsayılar ile yapılan hesaplamalar Seviye-II ve daha ayrıntılı olabildiğince lokal bilimsel araştırmalara dayanan hesaplama metodu ve süreci şeffaf ve yerel çalışmalar ile doğrulanmış olan Seviye-III (Aalde ve diğ., 2006).

Türkiye "Ulusal Seragazı Envanteri"ni raporlamaya başladığı ilk rapordan itibaren ormancılık sektöründe birinci ve ikinci Seviye yaklaşımları kullanmaktadır. Ancak değişen modelleme teknolojisi, yapılan yeni bilimsel çalışmalar ve iklim değişikliğinin etkilerinin gittikçe şiddetli olarak hissedilmeye başlanması ile birlikte sahip olduğumuz ormanlık alanların net bir biçimde modellenebilmesi, raporlanabilmesi ve çeşitli senaryolara göre denenmesi Seviye-III hesaplama yapabilen bir modelleme anlayışının gerekliliğini ortaya çıkartmıştır.

IPCC (2006)'ya göre ormanlar sahip oldukları ekolojik özellikler bakımından gerek insan kaynaklı gerekse doğal sebeplerden kaynaklanan etkilerden ötürü doğrudan karbon emisyon kaynağı haline gelebilmektedirler. Karbon hesaplamaları kapsamında değerlendirildiğinde bu

değişime sebep olan etmenlere “aktivite verisi” denilmektedir. Değişikliğin arazi kullanımı üzerinden kaybını hesaplamak anlamında orman-orman, orman-tarım, orman-şehir ve bunun gibi çeşitli arazi bozulumları farklı emisyon faktörleri (EF) ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Bu emisyon faktörleri IPCC tarafından belirlenmiş olabileceği gibi (Seviye-I) ülkelerin kendine ait hesapladıkları katsayılar da olabilir (Seviye-II ve III). Orman yangınları, böcek zararları, ormancılık faaliyetlerinden kaynaklanan kesimler ve kaçak kesimler orman-orman kapsamında yer almaktadır. Bir yerin arazi kullanımının değişmesi için son 20 yıldır sürekli olarak değişen arazi tipinde kalmalıdır.

Ormanlar yönetim biçimlerine ve meydana gelebilecek zararlara bağlı olarak karbon salımında yutak ya da kaynak olabilirler. İyi bakılmış, yaşlı ve sağlıklı bir orman karbon yutağı olurken bu ormanda meydana gelebilecek bir orman yangını ya da başkaca bozunumlar bir anda işlerin değişerek bu alanın karbon salım kaynağı olmasına neden olabilir (Saleska ve diğ., 2003). Ayrıca değişen iklim koşulları da ormanların karbon tutma kapasitesini ve süreçlerini doğrudan etkilemektedir (Hyvönen ve diğ., 2007).

Ormanların sahip oldukları özelliklerden iklim değişikliği ile mücadele konusunda en önemlilerinden biri olan “karbon tutma” özellikleri çeşitli alt başlıklarda incelenmelidir. Ormanlarda karbon depolama denildiğinde ormanların sahip olduğu ve araştırmalar sonucu belirlenmiş olan 5 adet ana karbon havuzu anlaşılmalıdır.

Orman ekosisteminde karbon havuzları kısaca, karbon tutma ve salma yetkinliğine sahip olan sistemlerdir (IPCC, 2000). Ormanlık ekosistemlerde, toprak üstü ve toprak altı biyokütle (yaşayan biyokütle), toprak, ölü odun, ölü örtü ve atmosfer olarak beş farklı birikim alanında karbon havuzu olarak isimlendirilirler. Ayrıca ormanlardan elde edilen odun temelle ürünler de “hasat edilmiş orman ürünleri” olarak ayrıca hesaplanmaktadır.

Karasal ekosistemlerde karbon döngüsünde yer alan biyokütlenin yaklaşık %50’sinin doğrudan karbon olduğunu ve yer küre üzerindeki karasal ekosistemlerde yer alan toprak üstü ve toprak altı karbonunun yaklaşık %70-90’ının ormanlarda yer aldığını, ormanlarda ise toprak üstü biyokütlenin ağaçların fizyolojik yapılarından ötürü toprak altı biyokütleye göre daha fazla olduğunu söyleyebiliriz, ayrıca tropikal ekosistemlerde artım daha fazla olacağından ve bitkilerin vejetasyon periyodu uzunluğundan ötürü daha fazla yaşayan (toprak üstü ve toprak altı) biyokütle vardır (Houghton ve diğ., 2009).

IPCC (2006)'ye göre orman ekosistemindeki karbon havuzları ana başlıklar altında şunlardır;

1- Yaşayan Biyokütle Havuzu; toprak altı biyokütle ile toprak üstü biyokütle havuzlarının toplamına eşittir.

2- Ölü Organik Madde Havuzu; Ölü Örtü ve Ölü Odun karbon havuzlarının toplamına eşittir.

3- Toprak Karbonu; Toprak Organik Maddesi ve Toprak İnorganik Karbonu (Seviye-III) olarak verilmiştir.

2020 yılı itibarıyla ülkemiz orman ekosistemlerinde toplam karbon stoğunun %37'si toprak üstü (%30) ve toprak altı biyokütle (%7), %57'si toprak karbonu, %0-1'i ölü odun ve %6'sı ölü örtü olarak belirlenmiştir (FAO, 2020).

FAO'nun (2020) tanımlamış olduğu karbon havuzları ve açıklamaları şunlardır;

- **Toprak Üstü Biyokütle:** Toprak üstünde yer ala otsu ve odunsu her türlü yaşayan bitkiye ait biyokütlenin toplamıdır. Her türlü otsu ve odunsu gövde, ince ve kalın dallar, yapraklar, tohumlar ve ağaç kabukları bu karbon havuzu içinde yer almaktadır. Ancak orman altında yer alan diri örtünün olmaması ya da yok denecek kadar az olması durumunda yapılan hesaplamanın seviyesine bağlı olarak ülkenin ekolojik ve klimatik özelliklerine bağlı olarak belirlenmiş metodoloji izlenebilir yahut hesaplarda önemsiz sayılabilir.

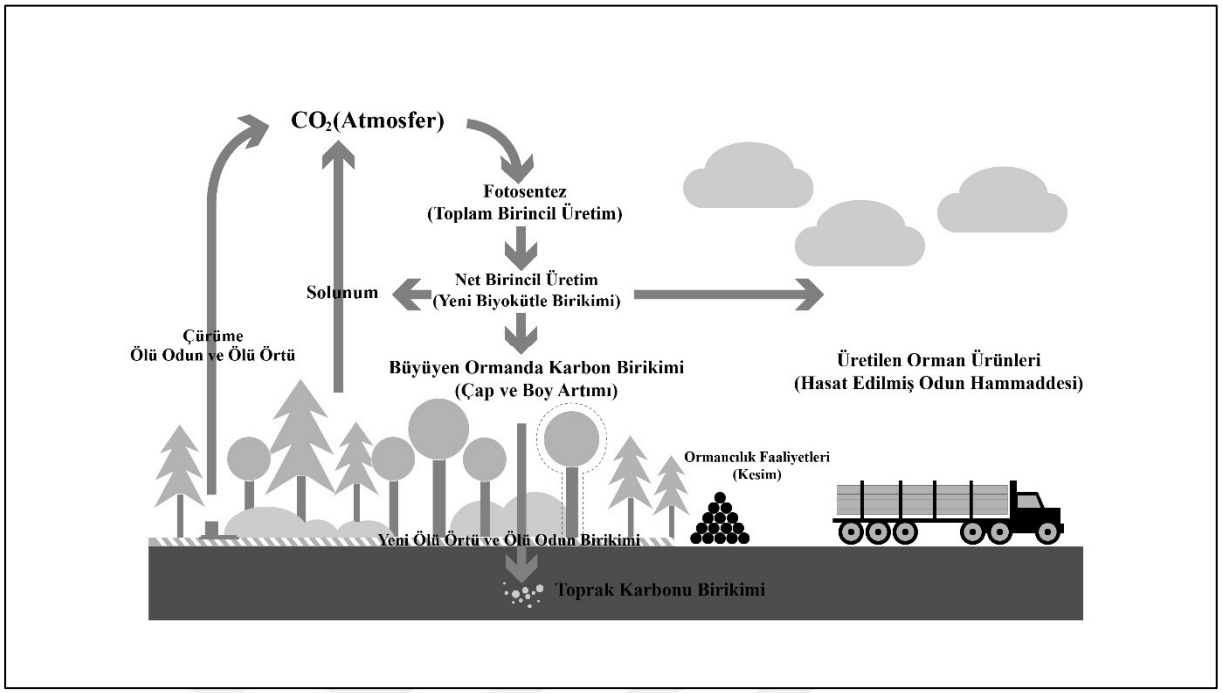
- **Toprak Altı Biyokütle:** Toprak altında kalan tüm canlı köklerin biyokütlerinin toplamıdır. 2 mm çapın altındaki kökler genellikle toprak organik maddesi ya da ölü örtüden ayırt edilemeyeceği için bu havuza dahil edilmezler.

- **Ölü Örtü:** 10 cm – 2 mm aralığında yer alan, ayrışmakta olan ya da mineral haldeki cansız malzemeyi ifade etmektedir. Buradaki boyut ölü odun ve toprak karbonu havuzlarından ayrı olarak tanımlanabilmesi için belirlenmiştir. Toprak altında yer alan 2 mm'den daha küçük canlı kökler deneysel çalışmalarda başkaca karbon havuzlarına eklenebilmektedirler.

- **Ölü Odun:** Dikili kuru ya da devrik halde bulunan canlılığını yitirmiş ve ölü örtüden ayrılamayacak ölçüde ayrışmamış olan cansız 10 cm çapından büyük odunsuları ifade etmektedir. Çürüklük katsayısına bağlı olarak diğer karbon havuzlarına da dahil edilebilir.

- **Toprak Karbonu:** Standart olarak 30 cm derinliğe kadar fakat yapılacak ulusal ölçekli çalışmalar değişebilir nitelikte olan ve belirlenmiş derinliğe kadar mineral toprağın içerisinde yer alan organik materyalin tamamını ifade etmektedir. 2 mm'den küçük canlı ya da ölü kökler, ayrışmakta olan ölü organik materyal bu havuza dahildir.

Karbon havuzları birbirleri ile karmaşık bir ilişkiye sahiptirler ancak en temelinde ayrışan materyalin bir sonraki karbon havuzuna akışı ile sürdürdükleri bir karbon döngüsüne sahiptirler. Canlılığını yitiren odunun zamanla ayrışarak ya da çeşitli etkiler sonucu atmosfere verilmesi ve yaşayan biyokütlenin fotosentez sonucu bu karbonu bağlaması ile birbirini takip eden basamaklardır. Örneğin yapraklar ölü örtüye ve oradan toprağa, ağaçlar önce ölü oduna sonra ölü organik materyale ve toprağa geçmektedir. Yahut kesim sonrası oluşan artıklar çürüme ile toprağa, üretilen odun hammaddesi olarak başka bir karbon havuzuna geçiş yapmaktadır. Yangın sonucu doğrudan atmosfere sera gazı salımı ile geri dönüş olurken, böcek ve hastalık zararları ile yavaş yavaş ölü odun ve ölü organik madde olarak toprak havuzuna geçiş söz konusu olmaktadır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1: Orman ekosisteminde karbon döngüsü (Broadmeadow ve Matthews, 2003).

Ormancılık Faaliyetlerinin ve bozulumların karbon stoklarına etkisini hem lokal hem de genel ölçekte inceleyen birçok çalışma yapılmaktadır. Örneğin McKinley (2011) üretim amacıyla yapılan yönetim faaliyetlerinin ormanlara daha verimli bir karbon bağlama yeteneği kazandırabileceğini ancak buna karşılık olarak toplam karbon stok değerlerinin ise doğal ormanlara göre daha az olabileceğini söylemektedirler. Hem odun üretimi hem de orman sağlığının korunması açısından yapılan en yaygın orman yönetim metodu aralamalar olarak kabul edilmektedir, ancak bu kapsamda yapılan kesimlerin boyutlarının her iki amaca da hizmet etmesi açısından ekolojik, klimatik ve ekonomik beklentiler doğrultusunda optimum olması gerekmektedir. Şiddetli yapılan kesimler orman ekosistemini ve dinamiklerini bozabilir, hafif şiddetli aralamalar ise üretim ihtiyacını karşılayamayabilir yahut beklenen hacim artışını sağlayamayabilir. Ancak her kesim faaliyeti önce bir miktar karbon stoğu azalışına sonrasında ise çeşitli koşullara bağlı olarak eskisine oranla artışına olanak tanıyabilmektedir. Ayrıca kesim faaliyetlerinden sonra meydana gelen değişim ayrışmanın ve hacim artım hızının etkisiyle zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Smith ve diğ., 1997; Sturtevant ve diğ., 1997; D'Amato ve diğ., 2011; Zhou ve diğ., 2013; Stephenson ve diğ., 2014; Schaedel ve diğ., 2017). Yapılan başka bir çalışmada yapılan farklı şiddetlerdeki aralamaların ağaçlarda artımı ve dolayısı ile karbon birikimini arttırdığı ancak yapılan çalışmanın süresinin kısa oluşundan ötürü

ormanın genel stoklarını etkilemediğini söylemişleridir (Lin ve diğ., 2018). Uygulanan silvikültür çalışmalarının ormanın sağlığını düzeltmesi bakımından karbon stoklarını destekleyici ve olabilecek zararların riskini arttıracağı da bilinen diğer bir olgudur (Gottschalk, 1995). Kesimlerin orman içi sıcaklık, nem, kapalılık gibi koşulları değiştirmesinden dolayı sıcaklık ve güneşlenme süresinin artışıyla orman zemininde hem ölü örtüde hem de ölü odunda ayrışma faaliyetlerinin hızlanacağı buna karşılık ölü organik madde içeriğinde bir artış gözlemleneceği bilinmektedir (Hendrickson ve diğ., 1982; Salonius, 1983). Perez-Garcia (2005) zamanla hasat edilmiş orman ürünlerine olan ihtiyacın artacağı ve bu da ormanlar üzerindeki üretim ve yönetim faaliyetlerini etkileyeceğini söylemiştir. Nitekim, Bouyer ve Serengil (2016) yılında yaptıkları araştırmada ülkemizde gelişen ekonomi doğrultusunda artacak endüstriyel odun ihtiyacına karşın artacak talebin ahşap ürünlerin kullanımına ve dolayısı ile hasat edilmiş orman ürünleri ile tutulan karbon miktarının artışına olanak tanıyabileceğini ve Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelesinde önemli bir rol alabileceğini söylemişlerdir.

Orman ekosistemlerinde meydana gelebilecek yangın, böcek ve hastalık zararları biyoçeşitliliğin azalması, karbon stokların düşüş ve diğer sorunları da beraberinde getirmektedir (Deb ve diğ., 2020).

Ormanlarda meydana gelen stok düşüşleri, kesim faaliyetleri ve orman zararları emisyon çıkışına neden olmaktadır. Bu emisyonların hesaplanabilmesi amacıyla FAO (2005) ve IPCC (2006) tarafından belirlenmiş; genel olarak Seviye-I ve Seviye-II çalışmalarında kullanılabilen "emisyon faktörü" kavramı bu noktada kesim ya da orman zararı sonucu oluşan emisyonun hesaplanmasına yardımcı olan bir katsayı sistemi geliştirilmiştir. Yapılan ulusal çalışmaların ve araştırmaların doğrultusunda geliştirilmiş olan ülkeye özel ya da lokal olan emisyon faktörleri Seviye-II ve Seviye-III çalışmalar için kullanılmaktadır.

CBM-CFS3, bir Seviye-III yaklaşımı kullanarak orman sektöründeki karbon ve diğer sera gazlarının tahmini, raporlanması ve takip edilmesi için geliştirilmiş, ücretsiz olarak temin edilebilen bir ekolojik modelleme yazılım sistemidir. Yazılımın uygulanabilirliği ve güvenilirliği, Kanada, Güney Kore, Romanya, Polonya, İtalya ve AB, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika, Rusya gibi ülkelerde gerçekleştirilen araştırmalarla gösterilmiştir. Kanada ve İrlanda'da, yazılım ormancılık sektörü sera gazı emisyonlarının ve azaltımlarının yıllık raporlanması için kullanılmaktadır.

CBM-CFS3, IPCC standartlarına göre orman karbon havuzlarında karbon dinamiklerini tahmin etmek için esnek bir şekilde kullanılabilir (Kurz ve diğ., 2009; Kim ve diğ., 2016).

Yazılım ayrıca, orman yönetimi politikasının iklim değişikliğinin etkilerini azaltma, uyum sağlama ya da önleme veya ekosistem tabanlı işlevsel orman planlaması, orman sektöründe orman zararlarından ya da ormancılık faaliyetlerinden kaynaklanan Sera Gazı emisyonunun tahmini, çeşitli senaryoların raporlanması ve simülasyonunun ormanlar üzerindeki sonuçlarının izlenmesi için kullanılabilir. Örneğin, yazılım Olguin (2018) tarafından ormancılık sektöründe iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik uygulanan faaliyetlerden kaynaklanan karbon emisyonlarını gözlemlemek için sistematik bir yaklaşım uygulayan senaryo analizi için kullanılmıştır (Smyth ve diğ., 2018; Dugan ve diğ., 2018). İtalya'da bir grup araştırmacı, İtalya'nın orman karbon stoklarını tahmin etmek ve geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak için 2013'te CBM-CFS3'ü kullanmıştır (Pilli ve diğ., 2013). Birçok çalışma ve örnek CBM-CFS3'ün Seviye-III yaklaşımları kullanarak geçmişte, günümüzde ve gelecekte sera gazı emisyonlarını tahmin etmek için nasıl kullanabileceğini göstermektedir (Pilli ve diğ., 2017; Kurz ve diğ., 2016).

Kim ve arkadaşları (2016) yaptıkları çalışmada Güney Kore ormanlarını CBM-CFS3 ile modellemişler ve IPCC standartlarına uygun olarak hazırladıkları raporda ulusal hesaplama seviyesini yükseltmişlerdir. Girardin (2015) yaptıkları modelleme ile olası iklim değişikliği senaryolarından biri olan yıllık ortalama ve maksimum sıcaklıkların artışının ağaç büyümesi ve karbon stokları üzerindekini etkisini modellemişlerdir. Arora ve arkadaşları (2016) artacağını varsaydıkları böcek zararlarının orman karbon stoklarına etkisini CBM-CFS3 ile incelemişlerdir. Pilli ve arkadaşları (2016) Avrupa Birliği ülkeleri için oluşturdukları simülasyonda hasılat ve orman zararların kaynaklanan etkilerin üye ülkelerin karbon stoklarına etkilerini incelemişlerdir. Smyth ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada lokal ısınma ve elektrik üretimi amacıyla kullanılan hasat edilmiş orman ürünlerinin miktarlarının iklim değişikliği ile mücadele kapsamında değişik orman yönetimi ve enerji anlayışları bakımından incelenmesini konu almışlardır. Ormancılık sektöründe en büyük ikilemlerden biri olan maksimum üretim ya da ormanları doğal haline bırakma ve karbon yutağı olarak kullanma düşüncesine karşın Berndes ve diğ. (2018) yaptıkları modelleme ile bu konu üzerine karar vermeyi kolaylaştıracak bir çalışma meydana getirmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Meksika ormanlarının 2030-2050 orman sektörü için sera gazı salım ve tutum simülasyonları

modellenmiş ve karbon emisyonları azaltmak için sistemsel bir yaklaşım araştırılmıştır (Olguin ve diğ., 2018). Head ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada Kanada genelinde tüm eyaletler ve 117 farklı ağaç türü için yaptıkları çalışmada Kanada ormanlarının karbon stok değişimlerini ve hasattan kaynaklanan emisyonlar ile sonrasında bu hasat edilmiş orman ürünlerinin kullanımı ile karbon nötrlük seviyesini incelemişlerdir. Xu ve diğerleri (2018) yaptıkları çalışmada iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla yapılan ormancılık yönetim stratejilerinin karbon stokları üzerine etkisi ve bunun sosyo-ekonomik boyutunu ele almışlardır. Ağaçlandırmaların iklim değişikliği ile mücadele önemli bir yeri olması bakımından plantasyon süreçlerinin incelenmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla Metsaranta (2019) tarafından yapılan çalışmada önce tarım arazisi olan ve daha sonrasında dikimle ormanlaştırılmış bir araziye ait kızılçam ve ladin türleri için oluşturulmuş simülasyonda meşcere sıklığının ve bir önceki arazi kullanımının farklı ağaç türlerinin tesiri altında karbon stoklarına etkisini incelemiştir. Yine başla bir çalışmada CBM-CFS3 ile yapılan modelleme ile soğuk iklim ormanlarının iklim değişikliğinin etkilerine karşı göstermiş olduğu kısa dönemli tepkileri incelemiştir (Miquelajauregui ve diğ., 2019). Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Meksika'nın iklim değişikliği etkilerini azaltmak için farklı ekosistem ve klimatik koşullar altında yaptıkları farklı yönetim çalışmalarını inceleyen başka bir çalışmada, hızlı artım değerlerine sahip sıcak iklim türlerinin kısa süreçler içerisinde iklim değişikliği mücadele ve ürün üretimi konusunda önemli etkilere sahip olduğu fakat bununla birlikte genel maksimum idare süresi ve olabildiğince orman kaynaklı ürün kullanımının yaygınlaşması gerektiği vurgulamıştır (Smyth ve diğ., 2020).

3. MALZEME VE YÖNTEM

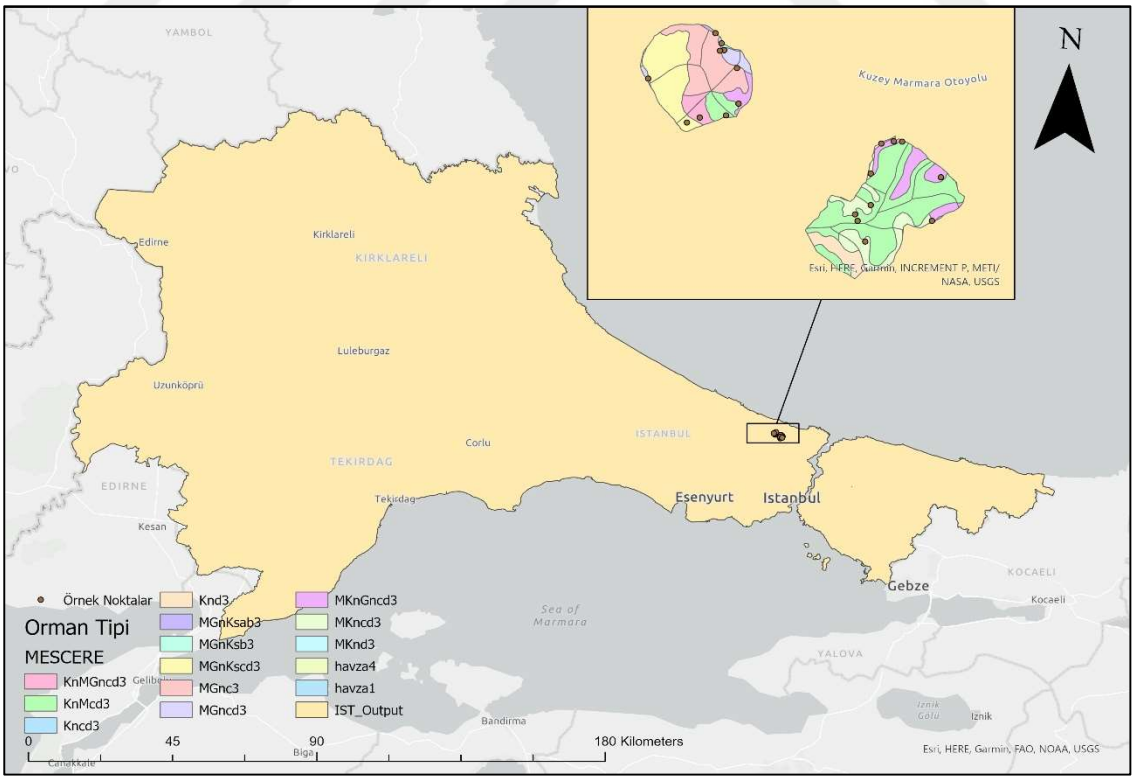
3.1.MALZEME

3.1.1. Araştırma Alanı

Bu çalışma kapsamında meşcere, orman işletme şefliği, orman işletme müdürlüğü ve orman bölge müdürlüğü olmak üzere 4 farklı ölçekte simülasyonlar hesaplanmıştır. Ülke bazlı simülasyon zaman ve işgücü ve veri gerektirdiğinde bu tez kapsamına alınmamıştır. Meşcere yani küçük ölçek hesaplamaları arazi çalışmalarına dayanmakta ve büyük ölçek çalışmaları kapsamında ele alınan orman işletme şefliği, orman işletme müdürlüğü ve orman bölge müdürlüğü sınırları dahilinde gerçekleştirilmiştir.

3.1.1.1.Küçük Ölçek Araştırma Alanı

Küçük ölçek arazi çalışmaları ve simülasyonları İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı'nın İstanbul Belgrad Ormanı'ında yer alan Ortadere Araştırma İstasyonu araştırma alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: İstanbul Belgrad Ormanı, Küçük Ölçek Deneme Sahası.

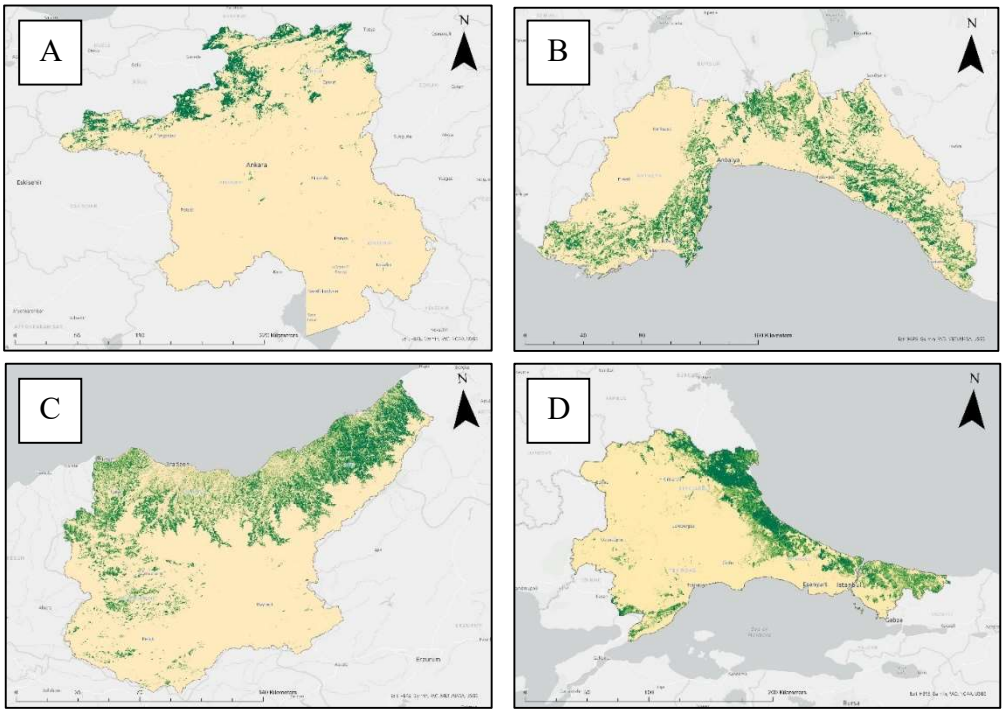
Alanda hakim bitki örtüsü yer yer karışık yer yer de saf olmak üzere 70-85 ortalama meşcere yaşına sahip doğal kayın ve meşe ormanlarıdır (Özhan ve diğ., 2010). Ayrıca alanda odunsu türlerden başta diğer meşe türleri olmak üzere kızılağaç, gürgen, karağaç bulunmaktadır (Yaltırık, 1966). Odunsu türlere ek olarak başkaca çalı ve otsu türleri de alt tabakada yer almaktadır (Özkan ve Gökbulak, 2017).

Çalışma alanındaki topraklar Amerika Tarım Departmanı'na göre Vertic Xerochrept sınıfına girmekte olup yaklaşık olarak %3 ve üzeri organik madde içermektedir (Özhan vd., 2010).

Thornthwaite metoduna göre nemli, mezotermal ve okyanus etkisine yakın; aynı zamanda yaz aylarında su noksanlığının görüldüğü bir iklim tipine sahiptir (Özyuvacı, 1999.) Yıllık ortalama yağış 1050 mm ve yıllık ortalama sıcaklık ise 12,3°C'dir (Serengil vd., 2007).

3.1.1.2.Büyük Ölçek Araştırma Alanları

Çalışma kapsamında seçilmiş olan büyük ölçek araştırma alanları yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık dağılımı düşünülerek seçilmiştir. Bu kapsamda Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon orman bölge müdürlükleri (Şekil 2.2; Şekil 2.3 ve Şekil 2.4) ülkemizin iklim ve vejetasyon çeşitliliğini yansıtması adına uygun örnekler olarak kabul edilmişlerdir.



Şekil 3.2: A) Ankara, B) Antalya, C) Trabzon ve D) İstanbul Orman Bölge Müdürlükleri ve Ormanlık Alanları.

Ülkemizde 2015 yılı verilerine göre 28 orman bölge müdürlüğü yer almaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 3.3: Seçilmiş olan orman bölge müdürlüklerinin Türkiye haritası üzerinde konumları.



Şekil 3.4: Türkiye tüm orman bölge müdürlükleri haritası (2015 Yılı).

Vejetasyonda ise ormanlar için hakim ağaç türlerinin belirlenmesi Envanter ve İstatistik Veri Tabanı'ndan (ENVANIS) elde edilmiş olup toprak ve diğer ekosistem verileri için Ulusal Sera Gazı Envanter Raporu (2018)'ndan yararlanılmıştır.

3.2.YÖNTEM

3.2.1. CBM-CFS3 Avrupa ve Kanada Veritabanları

Hesaplamalar ve simülasyonlar sırasında kullanılmış olan CBM-CFS3 modelleme programı içerisinde farklı bölgelerde kullanım olanağı sunan ve bölgeye özel parametreler ile güncellenebilen bir veritabanı yapısı mevcuttur. Kull ve arkadaşları (2016) yılında yaptıkları çalışmada CBM-CFS3 yazılımı içerisinde ne gibi değişiklikler yapılabileceğini ve bu değişikliklerin nasıl yapılması gerektiğini anlatmışlardır. Yazılım açık kaynak kodlu yani herkesçe indirilebilir ve kullanıma hazır bir yapıda ücretsizdir. Detaylı olarak veritabanı değişimi ve modifikasyon anlatımı mevcuttur (Kull ve diğ., 2017). Modifikasyon uygulanmamış hali ile Kanada ekosistem ve iklimsel parametrelerini takip ederek çalışmaktadır. Ancak bu durum diğer bölgelerde kullanımı sonucu hesaplama hatalarını ve gerçekten sapmayı meydana getirmektedir. Pilli (2018) tarafından yapılan çalışmada CBM-CFS3 veritabanı Avrupa Birliğine üye 26 ülke için baştan oluşturulmuş ve bu sayede yazılımın yapacağı simülasyonların bölgesel doğruluğunun artması amaçlanmıştır. Bu veri tabanı içerisinde ülkemize ekolojik anlamda yüksek derecede uyum gösteren ülkelerin parametreleri seçilmiştir.

Bu tez kapsamında her iki veritabanı da ülkemize özgü verilerden elde edilmiş Seviye-II hesaplamalarına göre istatistiksel anlamda test edilmiştir.

3.2.2. Verilerin Toplanması

3.2.2.1.Küçük Ölçek Çalışmalarına Ait Verilerin Toplanması

Küçük ölçek çalışmaları için toplanan veriler doğrudan araştırma arazisinde yapılan fiziksel ölçümleri kapsamaktadır. Bu ölçümler araştırma alanında IPCC (2006)'da tanımları yapılan karbon havuzları olan toprak üstü biyokütle, toprak altı biyokütle, ölü organik madde (ölü odun ve ölü örtü) miktarını ve toprak organik maddesini hesaplamak için yapılan ölçümlerdir.

Arazi ölçümleri sırasında araştırma alanının içerisine giren tüm meşcere tiplerinden örnek nokta alınmıştır. Toplam 20 örnek nokta belirlenmiş ve bu örnek noktaların her birinde belirlenen merkez ağaç nokta alınarak arazi eğimine bağlı olarak 400 – 600 m^2 arasında dairesel bir örnekleme alanı oluşturulmuştur.

Bu alan içerisinde giren tüm ağaçların türü, boyu, yaşı ve göğüs yüzeyi (1,30 metre yükseklik) çap çevreleri ölçülmüştür.

Ölü örtü için örnekleme alanının dört ana yönünde (kuzey, güney, doğu ve batı) 50 cm x 50 cm boyutunda bir quadratın içerisinde giren tüm ölü örtü toplanmıştır. Laboratuvarda fırın kurusu hale getirilen ölü örtünün biyokütlesi fırın kurusu ağırlığı üzerinden hesaplanmıştır.

Ölü odun içinse; belirlenen örnekleme alanı içerisine giren tüm ölü odun miktarı çapı 8 cm'den kalın ve ince olmak üzere not edilmiş; 8 cm'den kalın olanların çap ve boyları alınmış, kama testi yapılmıştır (IPCC, 2006).

Toprak örneklemesi ise 0-20 cm üst toprak ve 20-40 cm alt toprak örneklemesi olarak iki Seviyede yapılmış hem torba hem de silindir örneği toplanmıştır. Örnek noktaların kuzey, güney, doğu ve batı ana yönlerinden alınmış olan örneklerin Walkley-Black yaş yakma metoduna göre organik madde tayinleri yapılmış ve karbon içeriği hesaplanmıştır (Walkley ve Black, 1934).

3.2.2.2.Büyük Ölçek Çalışmalarına Ait Verilerin Toplanması

Büyük ölçek çalışmalarında ihtiyaç duyulan meşcere ana türü, meşcerenin yaşı, dikili hacim, yıllık artım, alan ENVANIS sistemi içerisinde halihazırda sunulan verilerdir. Ölü örtü ve ölü odun değerleri ise ulusal katsayılar kullanılarak belirlenmiştir.

İklim verileri ise ERA5'ten sağlanmış olup Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayınları ile kontrol edilmiştir (Şensoy ve diğ., 2008).

Ölü odun, ölü örtü ve toprak karbonu ile ilgili veriler için de Türkiye Ulusal Sera Gazı Envanter Raporu ve diğer ulusal bazlı araştırmalar kullanılmıştır.

IPCC (2006) yönergelerini takip eden hesaplamalarda kullanılan veriler, ulusal ya da lokal araştırmalar ile desteklenmiş ve ENVANİS'ten toplanan verilerle tamamlanmıştır. CBM-CFS3

yazılımında yapılacak olan modelleme için her alana ait ayrıntılı meşcere büyüme eğrileri bulunmadığından, ENVANIS'ten (Envanter-İstatistik) özel meşcere büyüme modelleri oluşturulmuş, ayrıca her orman meşceresinin belirli bir yıl için yıllık artış ve toplam hacim tahminleri yapılmıştır. CBM-CFS3'te kullanılacak büyüme eğrileri her meşere için özel olarak geliştirilmiş ve geliştirilirken de yıllık artım değerleri baz alınmıştır. Ayrıca meşcere toplam hacmi ve yıllık artım yardımıyla yine her meşcere için yaklaşık meşcere yaşı hesaplanmıştır.

Bölgesel ölçekli simülasyonlarda, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı'nın izni ile 2014, 2015, 2016, 2017 ve 2018 (2014 ve 2017 yılları eksik veri olduğundan diğer yıllar baz alınarak türetilmiştir) ENVANİS'e (Envanter-İstatistik) veri tabanı kullanmıştır. Ayrıca, IPCC Kazanç-Kayıp metodolojisine göre hesaplamalar için ormanlık alanlara ait yıllık hasılat veriler de yine ENVANİS'ten sağlanmıştır.

Tez kapsamında, ulusal olarak bildirilen hesaplamalara karşın, ortaya konan araştırma, CBM-CFS3 yazılımını kullanarak Türkiye hesaplamalarına Seviye-III yaklaşımı uygulamayı, uygulama sürecinde nelere ihtiyaç duyulduğu ve sürecin nasıl işlediğine dair bilgileri ortaya koymaktadır. Yapılan tüm hesaplamalar ve simülasyonlar ilgili yılların envanter veri seti kullanılarak yapılmıştır. ENVANİS'e (Envanter-İstatistik Veritabanı) toplam alan, meşcere sayıları ve müdürlük sayılarının zamanla değiştiği göz önüne alındığında, diğer yıllara göre türetilmiş olan 2014 ve 2017 yıllarında hata payının arttığı gözlemlenmiştir; tüm uygun karbon stok değişimleri hesaplama yöntemlerinde olduğu gibi, CBM-CFS3'te de süreklilik arz eden veri setlerinin oluşu simulasyonların doğruluğunu arttırmaktadır. Ayrıca, ENVANİS içeriğinde sadece elde edilen ETA (üretilen odun) yer alması ve herhangi bir orman zararı kayıt edilmemesi sebebi ile tez kapsamında sadece hasat edilen kereste miktarları CBM-CFS3'e uygulanmıştır.

3.2.3. Hesaplama Yöntemleri

3.2.3.1.Küçük Ölçek Simülasyonları İçin Yapılan Hesaplama Yöntemi

Küçük alan çalışmaları kapsamında araziden toplanan veriler doğrultusunda IPCC (2006)'ya göre Seviye II olarak kabul edebileceğimiz bölgesel ve ulusal katsayılarla zenginlenştirilmiş biyokütle hesapları yapılmıştır.

3.2.3.1.1. Küçük Ölçek Seviye II Hesaplamaları

Örnek noktaların bulunduğu her meşcerede toplam hacim; meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere boyu üzerinden hesaplanmıştır. Toplam hacim için örnek alanlara giren her ağaç "tek ağaç hacmi" hesaplanarak (Atıcı, E., 2006; Özdemir ve Saraçoğlu, 2016) elde edilmiştir.

Biyokütleler hesaplanırken IPCC (2006) tarafından oluşturulmuş metodolojiye bağlı olarak hesaplamalar sırasında BCEFs (Bitkisel Kütle Dönüştürme ve Genişletme Faktörleri) katsayılarından yararlanılmıştır. Bu katsayılar geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlar için ayrıca geliştirilmiş ve ağacın türüne bağlı olarak kullanılabilir kabuklu gövde odunu hacmini toprak üstü kütleye dönüştürme ve genişletme katsayısı olup birimi de ton/metreküptür. Daha sonrasında ise CF (Karbon oranı) katsayısı ile çarpılarak toprak üstü biyokütlenin içermiş olduğu karbon miktarı hesaplanmaktadır.

Topraküstü biyokütle; toplam hacim (m^3) ile Tolunay'a (2013) göre $BCEF_s$ (Dikili Ağaç için) ile iğne yapraklı (0,563 ton/m^3) ve yapraklı (0,717 ton/m^3) türler için ülkemize özgü belirlenmiş katsayıların çarpımı sonucu hesaplanmıştır. Karbon miktarı ise; IPCC (2006)'nin belirlediği (CF) ve ülkemiz için kullandığımız yapraklılar için 0,48 ve iğne yapraklılar için 0,51 katsayılarının biyokütle ile çarpımı sonucu elde edilmiştir.

$$Toprak\text{üst}\ddot{\text{u}}\ Biyok\ddot{\text{u}}tle\ = Toplam\ hacim\ \times BCEF\ (Dikili\ A\breve{g}a\text{ç})$$

(3.1)

$$Toprak\text{üst}\ddot{\text{u}}\ Karbon\ Miktarı = Biyok\ddot{\text{u}}tle\ \times CF$$

(3.2)

Toprakaltı biyokütle ise IPCC (2006)'nin belirlediği katsayılar doğrultusunda ülkemizde kullandığımız 0,23 katsayısı ile hesaplanmıştır.

$$Toprakaltı\ Karbon\ Miktarı\ = Toprak\text{üst}\ddot{\text{u}}\ Karbonu\ \times K\ddot{\text{o}}k - g\ddot{\text{o}}vde\ oranı$$

(3.3)

Ölü örtü için; toplanan örnekler 70°C fırın içerisinde 48 saat bekletilmiş ve nemden arındırılmıştır. Tartımdan sonra çıkan ağırlık tamamen organik madde kabul edilmiş ve 0,37 ile

çarpılarak bu sonucun o örneğe ait karbon miktarı olduğu kabul edilmiştir. Daha sonra ölçüm yapılan örnekleme alanı için toplam miktar hesaplanmış ve 1 hektara oranlanmıştır.

$$\text{Ölü Örtü } Karbon\ Miktarı = Fırın\ Kurusu\ Ağırlık\ \times 0{,}37 \tag{3.4}$$

Ölü odun ise; örnekleme alanına giren ve 10 cm. çapından büyük tüm ölü odunların çap ve boylarının ölçülmesi ve kama testi yapılması sonucu hesaplanmış olup 1 hektardaki toplam miktarı için oran orantı yöntemi kullanılmıştır.

Toprak karbonu örnek noktaların kuzey, güney, doğu ve batı ana yönlerinden 20 cm ve 40 cm derinlikten birim alanda ve hacimde alınmış olan örneklerin Walkley-Black yöntemi ile yüzdece karbon içeriğinin saptanması ile hektar olarak hesaplanması sonucu elde edilmiştir.

3.2.3.1.2. Küçük Ölçek CBM-CFS3 Hesaplamaları

CBM-CFS3 en küçük alan olarak 1 hektar kabul ettiğinden örnek alanlara ait alanların hepsi 1 hektar olarak girilmiştir.

Alan ve hakim ağaç türü programın dosyalarında belirtildikten sonra meşcere yaşı, ormancılık faaliyetleri (tıraşlama kesim, aralama, ağaçlandırma vb.) ile arazi bozunumları (orman yangını, böcek zararı, ormansızlaşma vb.) bilgilere ait (varsa) kayıtlar girilmiş, yoksa boş bırakılmıştır.

Bundan sonraki hesapları CBM-CFS3 IPCC (2006)'ca belirlenmiş formül ve yöntemlere göre hesaplamaktadır. Ancak belirtmek gerekir ki simülasyon programı "Seviye III" hesaplamalar yapabilmek için ayrıntılı parametreler gerektirmektedir, ülkemizde bu parametrelere ait çalışmaların yetersiz oluşu sebebi ile hesaplamalar Seviye II kapsamında kalmış olup yapılan mevcut hesaplamalara göre tekrarlanabilirliği, raporlanabilirliği ve şeffaflığı bakımından yapılan hesapları detaylandırmıştır.

3.2.3.2.Büyük Ölçek Simülasyonları için Kullanılan Hesaplama Yöntemi

3.2.3.2.1. Büyük Ölçek Seviye II Hesaplamaları

Küçük ölçek hesaplamalarında olduğu gibi Büyük Ölçek biyokütle hesabında da BCEFs (Bitkisel Kütle Dönüştürme ve Genişletme Faktörleri) katsayılarından yararlanılmıştır. Daha sonrasında ise meşcere tipine bağlı olarak ibreli türler ve yapraklı türler için ayrı ayrı

belirlenmiş CF (Karbon oranı) katsayısı ile çarpılarak toprak üstü biyokütlenin içermiş olduğu karbon miktarı hesaplanmıştır.

Topraküstü ve toprak altı biyokütleleri yine IPCC'ce (2006) belirlenmiş metodolojiye göre hesaplanmıştır. Ancak, büyük ölçek hesaplamalarında; meşcere hacimleri ENVANIS içerisinde verildiğinden doğrudan toplam hacimden (m^3) toplam toprak üstü biyokütlesi Tolunay'ın (2013) belirlemiş olduğu katsayılarla (BCEFs (Dikili Ağaç için) ile iğne yapraklı (0,563 ton/m^3) ve yapraklı (0,717 ton/m^3) türler için) çarpılarak hesaplanmıştır: Karbon içeriği ise; IPCC'nin (2006) belirlediği (CF) ve ülkemiz için kullandığımız yapraklılar için 0,48 ve iğne yapraklılar için 0,51 katsayıları ile karbon miktarına çevrilmiştir.

$$Toprak\text{üstü}\ Biyok\text{ütle} = Toplam\ hacim \times BCEF\ (Dikili\ Ağaç) \tag{3.5}$$

$$Toprak\text{üstü}\ Karbon\ Miktarı = Biyok\text{ütle} \times CF \tag{3.6}$$

Toprakaltı biyokütle ise IPCC (2006)'nin belirlediği kök-gövde oranları doğrultusunda ülkemizde kullandığımız 0,23 katsayısı ile hesaplanmıştır.

$$Toprakaltı\ Karbon\ Miktarı = Toprak\text{üstü}\ Karbonu \times K\text{ök} - Gövde\ Oranı \tag{3.7}$$

Ölü odun; hektarda bulunan dikili hacmin %1'i olarak kabul edilmiştir.

Ölü örtü değerleri için Tolunay (2011)'den yararlanılmış olup ibreli türlerin ana tür olduğu meşcerelerde 7,46 t C ha^{-1} ve yapraklı türlerin hakim tür olduğu meşerelerde ise 3,75 t C ha^{-1} kabul edilmiştir.

Toprak karbonu değerleri için; Serengil'in (2018) yapmış olduğu Türkiye ekozon ayrımına bağlı olarak TUİK'te (2020) belirtilmiş olan toprak organik karbonu değerleri kabul edilmiştir.

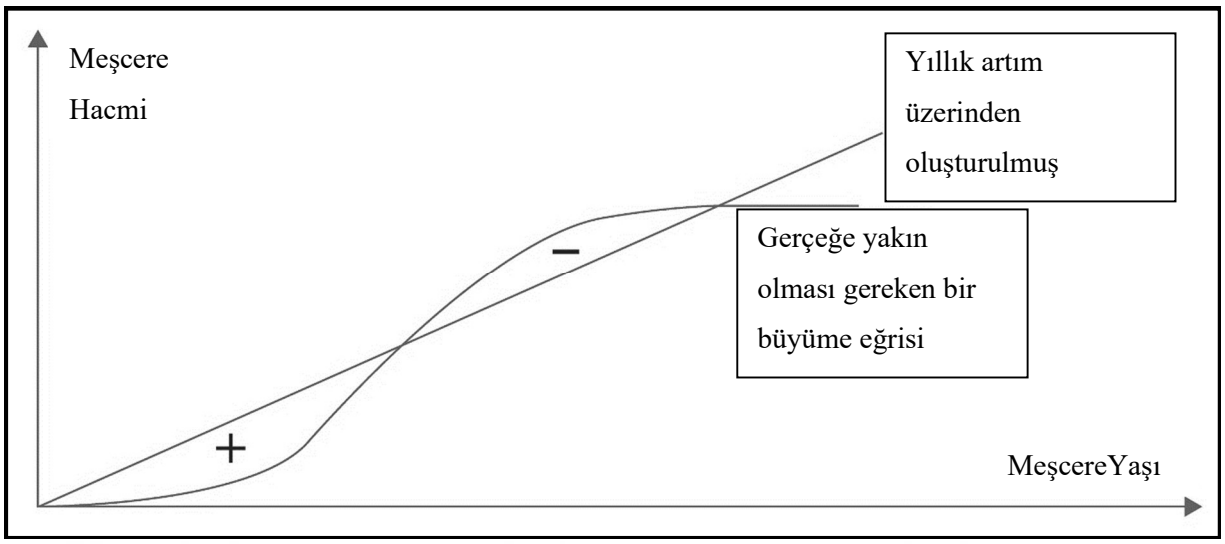
3.2.3.2.2. Büyük Ölçek CBM-CFS3 Hesaplamaları

Topraküstü ve toprak altı biyokütle hesapları için; doğrudan ENVANIS sisteminden alınan orman işletme şefliği, orman işletme müdürlüğü ve orman bölge müdürlüğü bilgilerine bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Bu bilgilerle arazi büyüklükleri, meşcere ana türleri ve arazi birimlerine ait ortalama orman yaşı alınmıştır. Orman ortalama yaşı yıllık ortalama artımın ve örnek alan toplam dikili hacmine bölünmesi ile hesaplanmıştır.

Hakim ağaç türünün cinsi ENVANİS'ten elde edilmiş olup, büyüme modeli yerine lineer bir seyir gösteren ortalama artım kabul edilmiştir. Ortalama artım örnek alan toplam hacminin meşcere ortalama yaşına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında bu lineer büyüme seyri genç ormanlarda fazla; ileri yaşlı ormanlarda ise normalden daha düşük düşük biyokütle hesaplanmasına neden olmuştur.

CBM-CFS3 ayrıca karbon havuzları arası geçişler ile salım ve tutumları hesaplayabilmek için yıllık ortalama sıcaklığa, ağaç türlerinin büyüme modellerine, ayrışma katsayılarına ve başkaca parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için hem simülasyon programının orijinali olan Kanada veritabanı hem de ekolojik koşullar bakımından Türkiye ile benzer özellikler gösteren bölgelere sahip Avrupa veritabanı (Pilli ve diğ., 2018) kullanılmıştır.

Bu hesaplama yöntemi ağaçların fizyolojik büyüme modelleri düşünüldüğünde bazı hatalara sebep olmaktadır. Birincisi genç meşcerelere ağaç türüne bağlı olarak toplam biyokütlenin gerçekten yüksek ve yaşlı meşcerelerde ise düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Ağaçların büyüme modellerin oluşturulması için birbirini izleyen yıllarda yapılan ölçümlerin çeşitli matematiksel yöntemler ile lineer olmayan modellemeleri yapılabilmektedir. Bu çalışmada, eldeki verinin kullanımını kabul eden pratik bir çalışma biçimini kabul edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Yıllık ortalama artım değerleri ve gerçek büyüme modeli farkı.

Yine küçük ölçek çalışmalarında olduğu gibi yıllık ortalama sıcaklığı ve yıllık toplam yağışı seçilen çalışma alanlarına olabildiğince yakın, tür çeşitliliği bakımından yıllık ortalama artımları asli türlerimize yakın olan ağaç türleri ve çalışma koşullarına uygun toprak tipi seçilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Gerekli tablolar oluşturulduktan, envanter bilgileri, büyüme modelleri girildikten ve hasılat aktiviteleri aktarıldıktan sonra tablolar CBM-CFS3'e aktarılmış ve program IPCC'ce (2006) belirlenmiş formül ve yöntemlere çalıştırılmıştır.

Dolayısı ile karbon havuzlarına ait ölçümler IPCC'de (2006) yapılan tanımlamalar ve formüllere göre yapılmıştır.

BULGULAR

3.3. KÜÇÜK ÖLÇEK ARAŞTIRMASI: BELGRAD ORMANI ARAŞTIRMA ALANI

Tüm ölçümler ve arazi çalışmaları 2017 yılının Temmuz ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Belgrad Ormanı Küçük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları

Küçük ölçek kapsamına yapılan tüm çalışmalara ve hesaplamalara ait sonuçlar birim alan (bir hektar) bazın sunulmuştur. Yirmi adet çalışma alanı seçilmiş ve bunlar "BO" kodu ve "1, 2,…, 20" sıra numarası ile isimlendirilmiştir.

Belgrad Ormanı küçük ölçek çalışmalarında yapılmış olan ölçümler ve arazi çalışması sonucu Seviye-II ve CBM-CFS sonuçları karşılaştırmanın anlamlı olması bakımından birim alana (1 hektar) göre verilmiştir (Tablo 3.1).

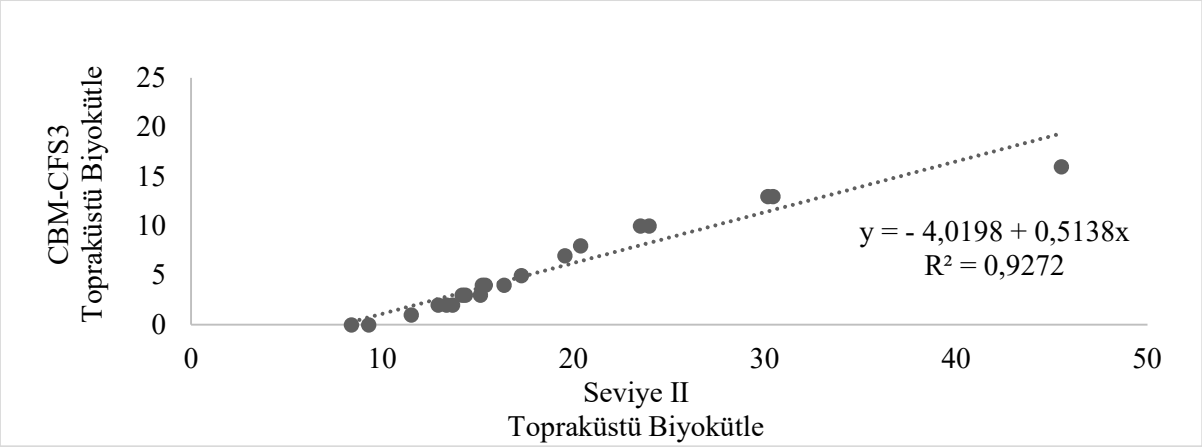
Seviye-II hesapları doğrudan araziden toplanan veriler vasıtasıyla hesaplandığı için bu sonuçlar ile CBM-CFS3'ye ait değişik veri tabanlarının verdikleri tepkiler ölçülmek istemiş ve ülkemize özgü bir veri tabanı ile çalıştırılırsa sonuçların değişip değişmeyeceği gözlenmek istenmiştir.

Tüm değerler hektar bazında hesaplanmış olup sonuçların birbirleri ile olan ilişkileri "En Küçük Kareler Metodu"na göre değerlendirilmiştir.

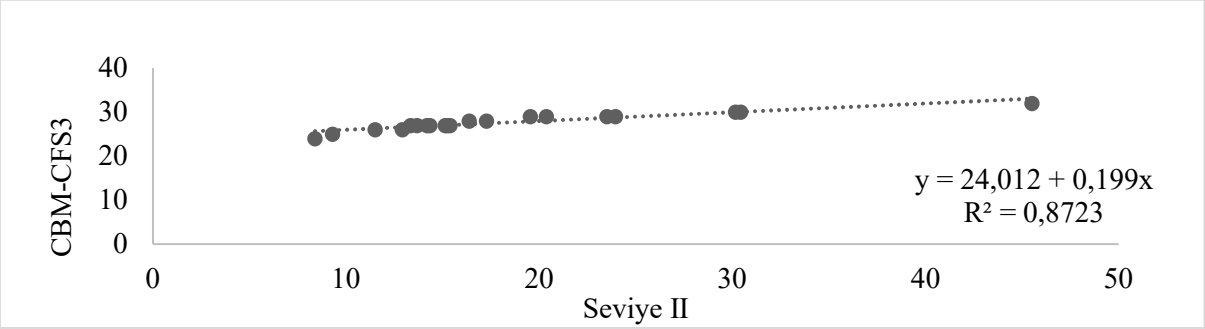
Yapılan istatistik sonucunda hem toprak üstü biyokütle (R^2 = 0,9272) için hem de toprak altı biyokütle (R^2 = 0,8804) sonuçları arasında en yüksek örtüşmenin Seviye-II ve CBM-CFS3 Avrupa Veritabanı arasında olduğu görülmüştür (Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).

Tablo 3.1: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları ile CBM-CF3 modellemesi toprak üstü ve toprak altı karbon havuzu sonuçları.

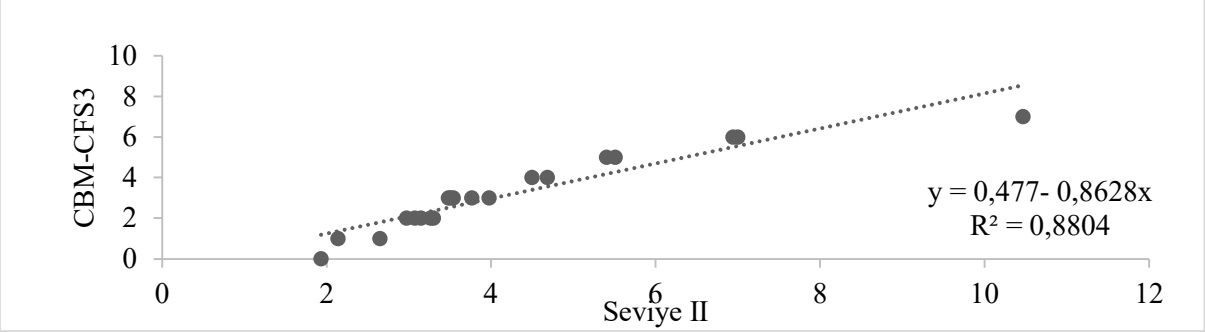
	Toprak Üstü Biyokütle (t C/ha)			Toprak Altı Biyokütle (t C/ha)		
Örnek Meşcere Kodu	Seviye II	Avrupa Veritabanı	Kanada Veritabanı	Seviye II	Avrupa Veritabanı	Kanada Veritabanı
BO1	30	13	30	7	6	10
BO2	20	7	29	4	4	9
BO3	46	16	32	10	7	10
BO4	23	10	29	5	5	10
BO5	15	4	27	4	3	9
BO6	24	10	29	6	5	10
BO7	15	3	27	3	3	9
BO8	13	2	27	3	2	9
BO9	8	0	24	2	0	9
BO10	9	0	25	2	1	9
BO11	14	2	27	3	2	9
BO12	12	1	26	3	1	9
BO13	13	2	26	3	2	9
BO14	30	13	30	7	6	10
BO15	14	3	27	3	2	9
BO16	16	4	28	4	3	9
BO17	14	3	27	3	2	9
BO18	17	5	28	4	3	9
BO19	15	4	27	4	3	9
BO20	20	8	29	5	4	10



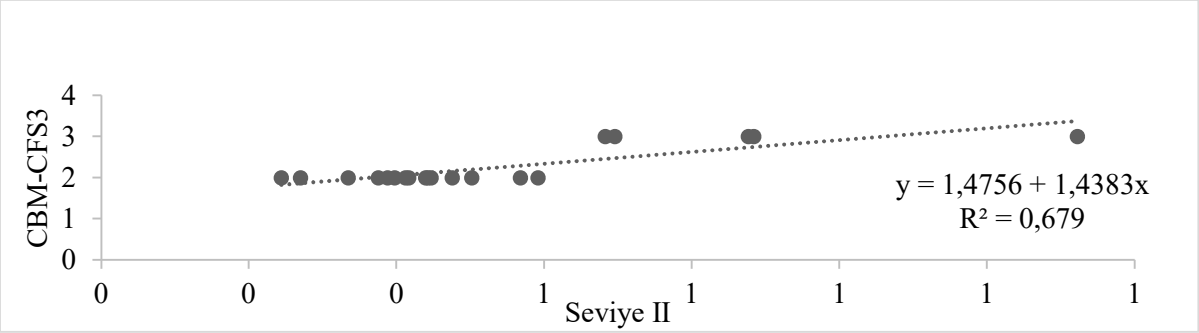
Şekil 3.6: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları toprak üstü biyokütle Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.7: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları toprak üstü biyokütle Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.8: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları toprak altı biyokütle Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.9: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları toprak altı biyokütle Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

Ölü örtü, ölü odun ve toprak karbonu değerleri ise yine toprak üstü ve toprak altı karbonu gibi en küçük kareler yöntemi ile kıyaslanmıştır. Elde edilen R^2 değerleri Seviye-II ölçümlerine yakınlığı temsil etmektedir.

Küçük ölçek çalışmaları dahilinde arazi çalışması sonucu hesaplanan değerler ile CBM-CFS3 modellemesi sonucu hesaplanmış olan ölü örtü, ölü odun ve toprak karbonu değerleri de yine canlı biyokütle havuzu için verildiği gibi hektar bazında verilmiştir (Tablo 3.2).

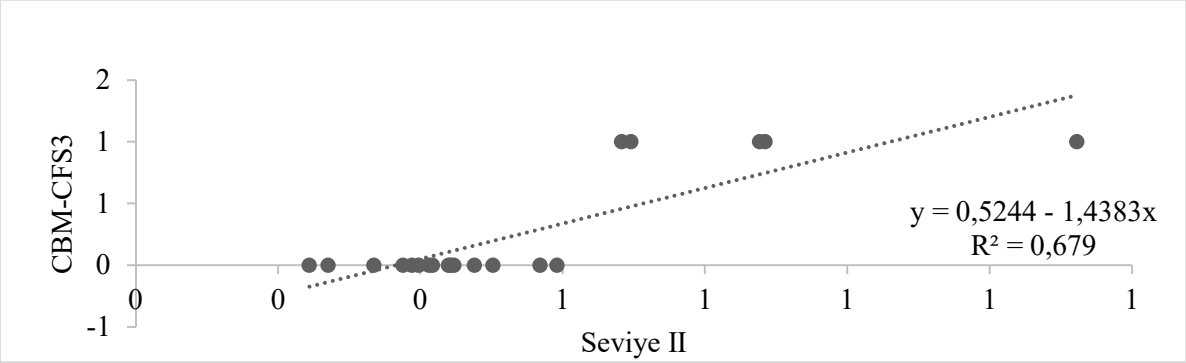
Tablo 3.2: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları ile CBM-CF3 modellemesi Ölü Odun, Ölü Örtü ve Toprak Karbon Havuzu sonuçları.

	Ölü Odun (t C/ha)			Ölü Örtü (t C/ha)			Toprak Karbonu (t C/ha)		
Örnek Meşcere Kodu	Seviye II	Avrupa Veritabanı	Kanada Veritabanı	Seviye II	Avrupa Veritabanı	Kanada Veritabanı	Seviye II	Avrupa Veritabanı	Kanada Veritabanı
BO1	1	1	3	1	2	66	78	29	131
BO2	1	0	2	1	2	65	81	23	132
BO3	1	1	3	1	3	66	74	33	128
BO4	1	1	3	1	2	65	80	26	132
BO5	0	0	2	2	1	62	82	17	130
BO6	1	1	3	1	2	65	80	26	132
BO7	0	0	2	2	1	63	25	17	130
BO8	0	0	2	2	1	62	82	14	129
BO9	0	0	2	2	0	57	84	4	123
BO10	0	0	2	1	0	58	63	6	124
BO11	0	0	2	2	1	62	65	15	129
BO12	0	0	2	2	0	60	48	11	127
BO13	0	0	2	2	1	61	82	13	128
BO14	1	1	3	1	2	66	78	29	131
BO15	0	0	2	1	1	62	82	16	129
BO16	0	0	2	1	1	63	82	19	131
BO17	0	0	2	2	1	62	82	16	129
BO18	1	0	2	2	1	64	81	20	132
BO19	0	0	2	2	1	63	52	18	130
BO20	1	0	2	1	2	65	33	23	132

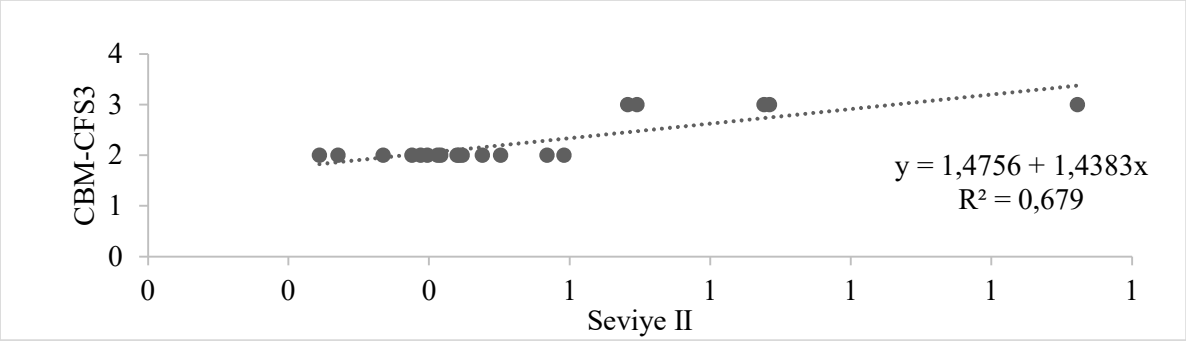
Yapılan istatistik inceleme sonucu Seviye-II sonuçlarına kıyasla CBM-CFS3 içerisinde değişen veri tabanı ve katsayıların ölü odun üzerinde bir etkisi olmadığı görülmektedir (Şekil 3.10 ve

Şekil 3.11). Ayrıca ülkemizde yakacak odun olarak yerleşim yerlerine yakın olan alanlarda ölü odunların yakacak olarak toplanması da bu karbon havuzu için yapılacak çalışmaların hassasiyetini etkilemektedir.

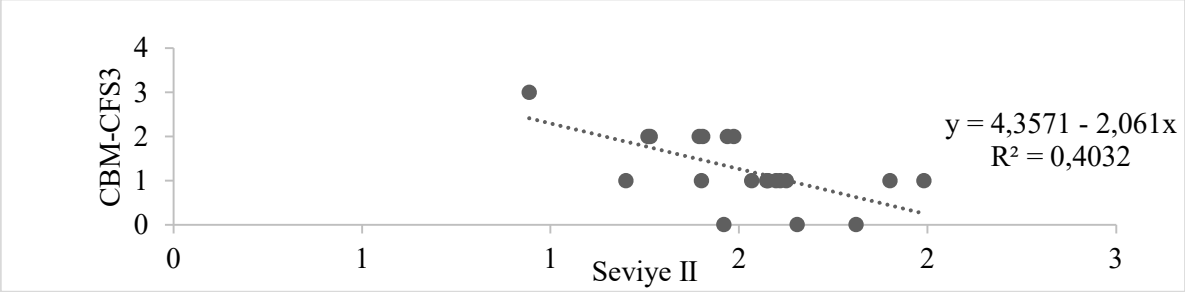
Ölü örtü karbon havuzunun aksine ölü örtü ve toprak karbonu havuzları için yine Avrupa veri tabanının Seviye-II sonuçları ile daha uyumlu olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15).



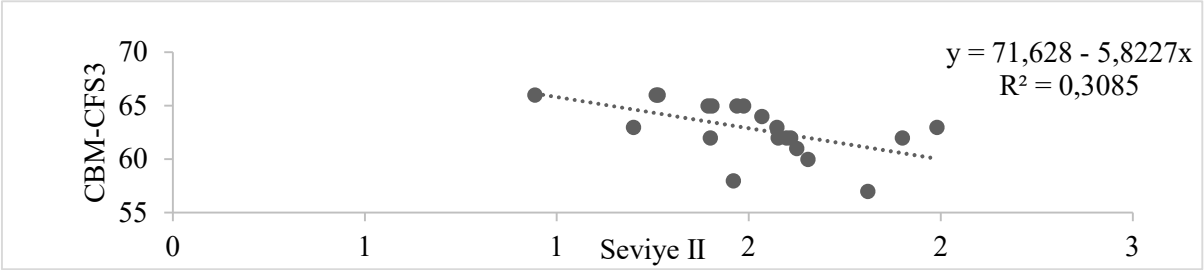
Şekil 3.10: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları Ölü Odun Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



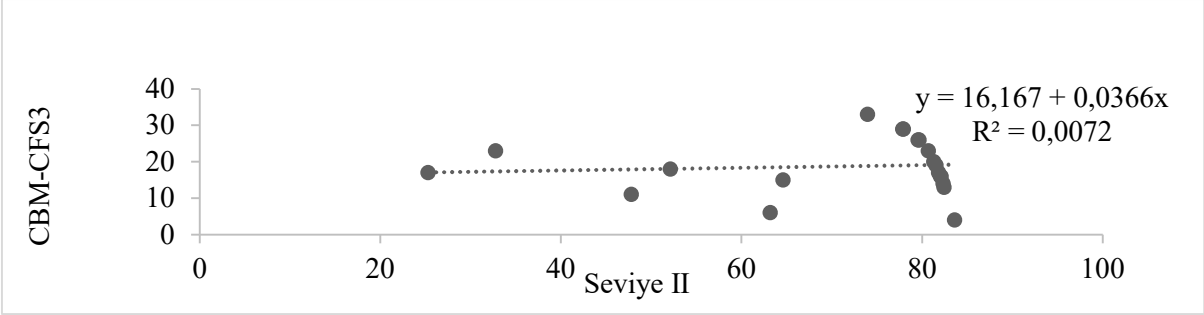
Şekil 3.11: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları Ölü Odun Karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.



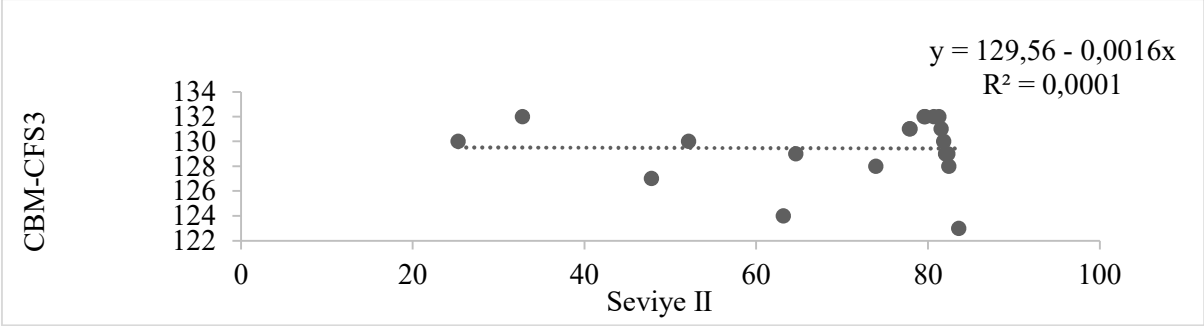
Şekil 3.12: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları Ölü Örtü Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.13: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları Ölü Örtü Karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.14: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları Toprak Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.

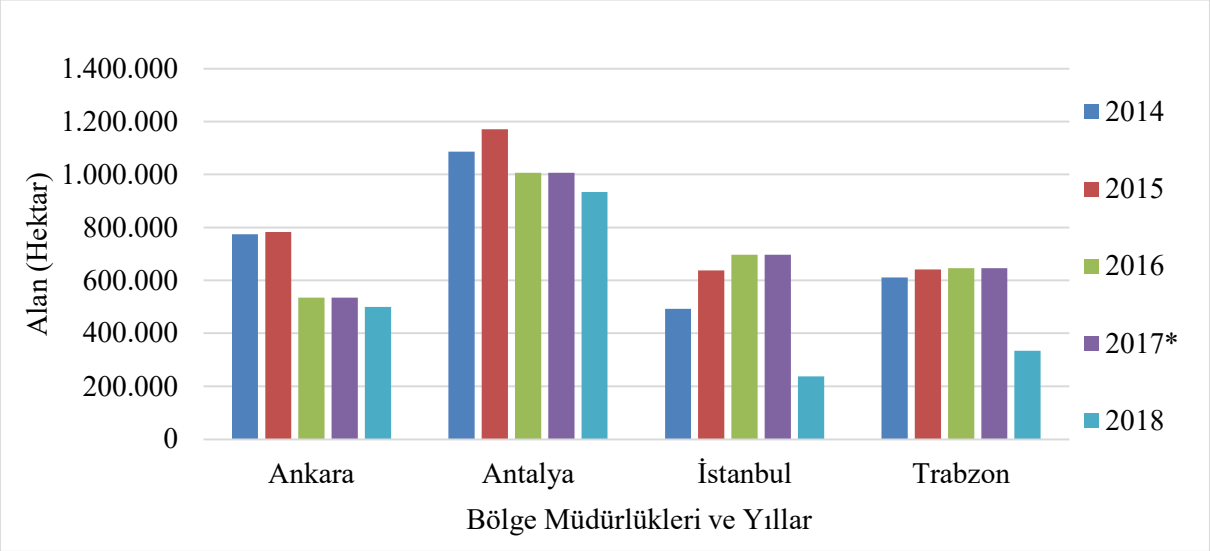


Şekil 3.15: Belgrad Ormanı (Küçük Ölçek) arazi çalışmaları Toprak Karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.BÜYÜK ÖLÇEK UYGULAMALARI: ANKARA, ANTALYA, İSTANBUL VE TRABZON ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜKLERİ

Orman bölge müdürlükleri sınırları ve toplam alanların yıllara bağlı olarak Orman Genel Müdürlüğü'nün gerekli gördüğü koşullarda değişebilmektedir. Bunun başlıca sebepleri; yeni orman işletme şeflikleri ve müdürlükleri açılması, var olan şeflik ve müdürlüklerin başka bir bölge müdürlüğüne transferi ya da bakanlık bünyesinde hazırlanan planlan dahilinde fonksiyonel amacın değişmesi olabilmektedir.

Büyük ölçek araştırmaları için seçilmiş olan Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlükleri kapsamında 2014-2018 yılları arasında CBM-CFS3 ve IPCC (2006)'ce belirlenmiş olan Seviye II ölçümleri yapılmıştır. 2014-2018 yılı arasındaki veriler için Orman Genel Müdürlüğü'nden izinle sağlanmış ENVANIS sisteminden yararlanılmış olup 2017 yılı için olan veri setleri alınamamıştır. Ancak 2017 yılı verisi "alan miktarı ve kesim (eta) değiştirilmeden ormanların yıllık artımı gereğince 1 yıl yaşlandırılarak (büyüme modelleri doğrultusunda) simülasyona katılmıştır.



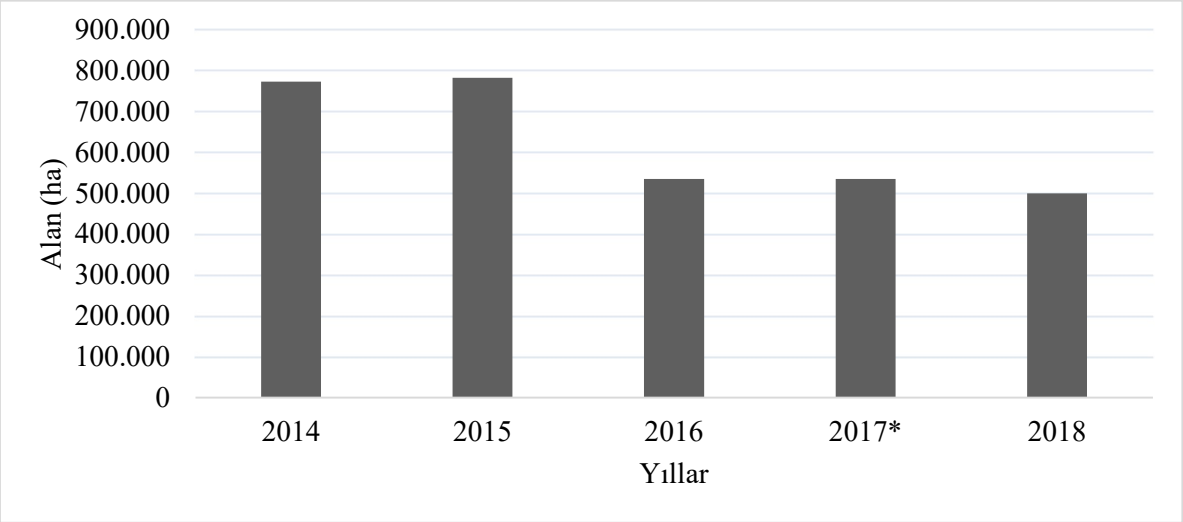
Şekil 3.16: Türkiye Orman Bölge Müdürlüklerinin yıllar bazında alansal değişimleri.

Her yıl için bölge müdürlüklerine ait orman miktarları OGM'nin iç politikaları ve çalışmaları gereğince değişiklik gösterebilmektedir. Yukarıda (Şekil 3.16) büyük ölçek çalışmalarının gerçekleştirildiği bölge müdürlüklerinde yıllara bağlı olan değişik ortaya konmuştur. Alan

değişimi rakamsal anlamda büyük gözükse de hektar başına düşen karbon miktarında önemli derecede bir farka neden olmamıştır.

3.4.1. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü

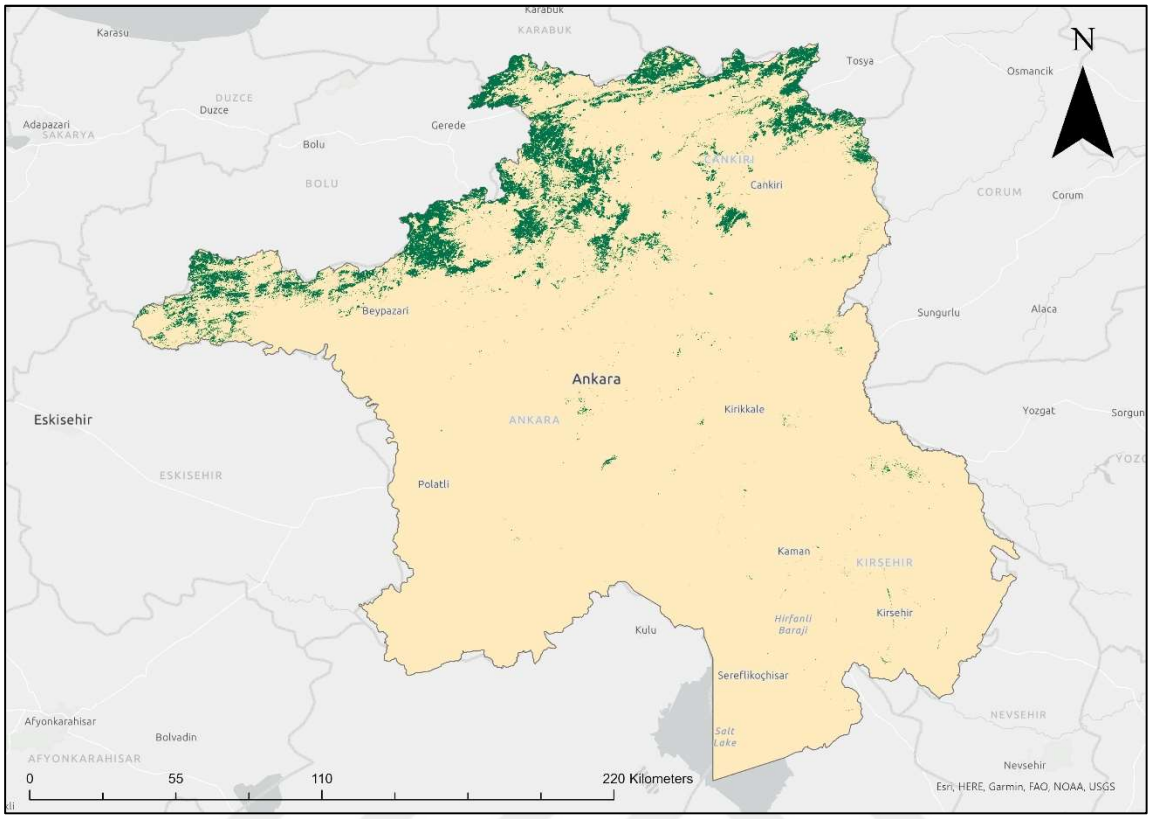
Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ne (Şekil 3.18) ait orman alanlarının 2014-2018 yılları arasında değişimi gözükebilmektedir (Şekil 3.17). 2017 yılına ait envanter veri tabanı OGM'den temin edilememiş ve bu sebeple de 2017 yılı orman arazi miktarının 2016 yılı ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Aynı zamanda kesim (ETA) miktarları da bir önceki yıl olan 2016 ile aynı olarak kabul edilmiştir. Ancak değişiklik olarak meşcereler bir yıl yaşlanmış ve yıllık ortalama çap artımı dolayısıyla hacimsel bir gelişimi simüle edilmiştir.



Şekil 3.17: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait ormanlık alanları zamansal değişimi.

Ankara Bölge Müdürlüğü için 2014-2018 yılları arasında Seviye II ve CBM-CFS3 simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Ve bu simülasyonlar ile yıllık eta oluşturmak amacıyla yapılmış olan kesim faaliyetinin etkisi ton karbon cinsinden ortaya konulmuştur.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü için yapılan CBM-CFS3 hesaplamalarında yıllık ortalama sıcaklık 11,7 °C olarak alınmıştır.



Şekil 3.18: 2015 Yılı itibarı ile Ankara Orman Bölge Müdürlüğüne ait ormanlık alanları gösterir harita.

3.4.1.1. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları

ENVANİS'ten elde edilmiş olan ormanlara dair veri ile hesaplanmış olan Seviye-II yine küçük ölçekte olduğu gibi gerçeğe en yakın sonuçlar olarak kabul edilmiş ve CBM-CFS3'nin farklı veritabanları ile verdiği sonuçlar Seviye-II'ye göre kıyaslanmıştır. Elde edilen modelleme sonuçları ve Seviye-II'ye ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Ayrıca karbon havuzlarının toplam değerleri yanıltıcı olabileceği için tüm değerler hektar bazında verilmiş ve kıyaslama öyle yorumlanmıştır (Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5).

Tablo 3.3: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II Sonuçları (1 Hektara göre).

Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	17	17	25	26	24
Toprakaltı Biyokütle	4	4	6	6	5
Ölü Odun	1	1	1	1	1
Ölü Örtü	7	6	8	8	7
Toprak	49,92	49,92	49,92	49,92	49,92
Toplam	79	78	90	91	87

Tablo 3.4: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	8	11	11	12	12
Toprakaltı Biyokütle	2	3	3	3	3
Ölü Odun	1	1	1	1	1
Ölü Örtü	1	1	1	1	1
Toprak	19	23	23	23	22
Toplam	31	39	39	40	39

Tablo 3.5: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

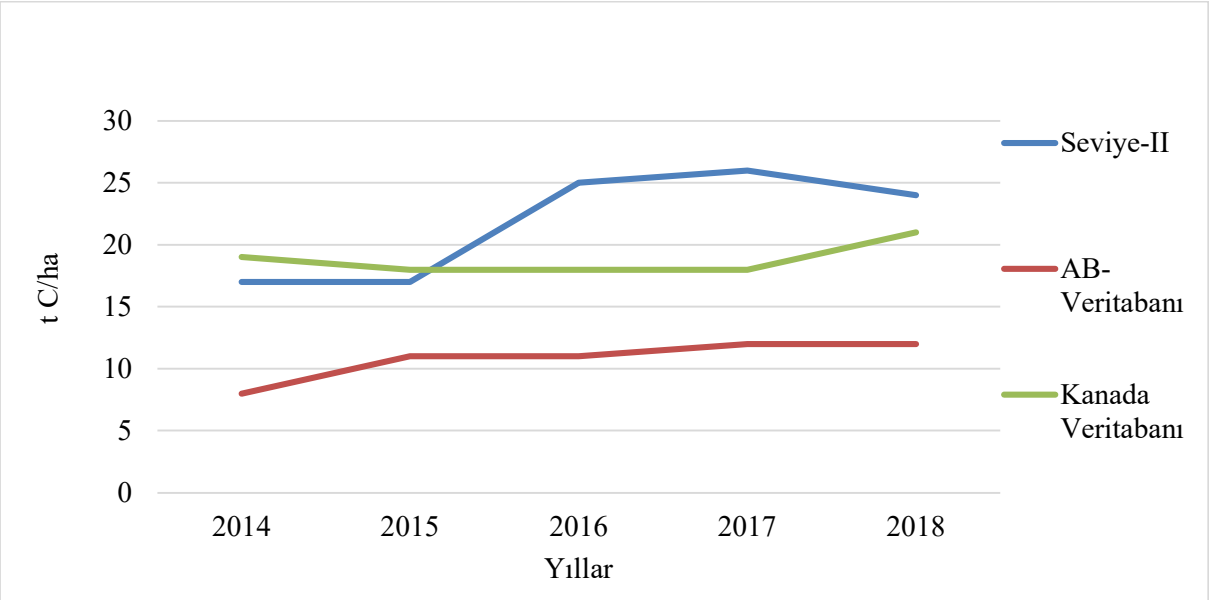
Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	19	18	18	18	21
Toprakaltı Biyokütle	5	5	5	5	5
Ölü Odun	2	3	3	3	3
Ölü Örtü	17	22	22	21	17
Toprak	52	66	66	66	55
Toplam	95	114	114	113	101

Hesaplamalar Seviye II, Kanada veritabanı ve Avrupa veritabanı ile gerekleştirilmiş olup hep toplamda hem de birim alana düşen ton bazında hesaplanmıştır. Karbon havuzlarına ait sonuçlar aşağıda istatistiksel olarak incelenmiştir.

3.4.1.1.1. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Sonuçları

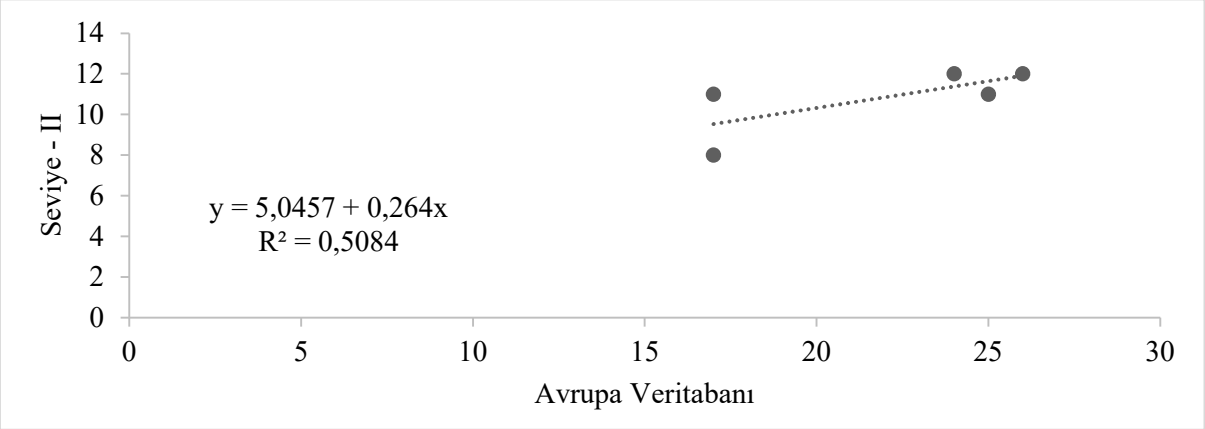
2014 ve 2018 yılları arasında Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak üstü karbonu sonuçları verilmiştir (Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü kapsamında yapılan modelleme ve Seviye-II hesaplama sonucu bulunan toprak üstü karbonu değerlerinin zamansal değişimi ve yukarıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 3.19).

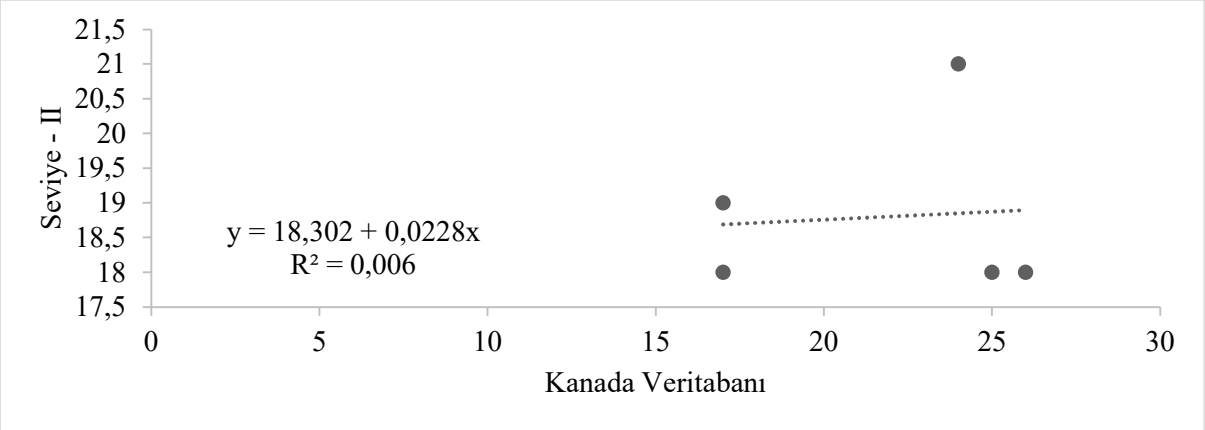


Şekil 3.19: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.

Yapılan regresyon sonucu toprak üstü biyokütle karbonu için elde edilen değerler bakımındaın Seviye-II'ye daha çok uyum gösteren CBM-CFS3 Avrupa Veri Tabanı olmuştur (Şekil 3.20 ve Şekil 3.21).



Şekil 3.20: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.

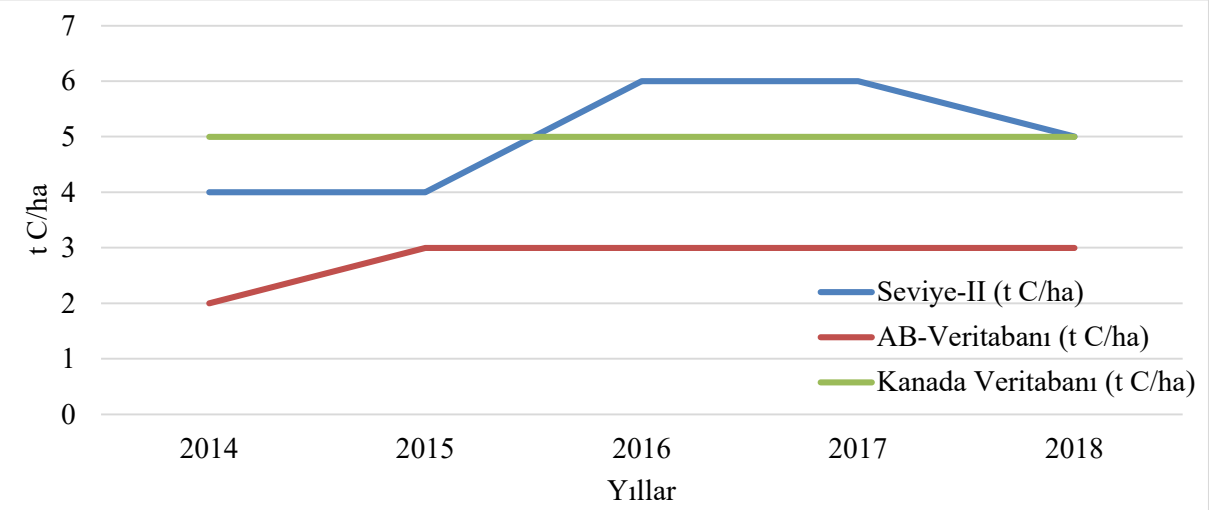


Şekil **3.21:** Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki

3.4.1.1.2. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Sonuçları

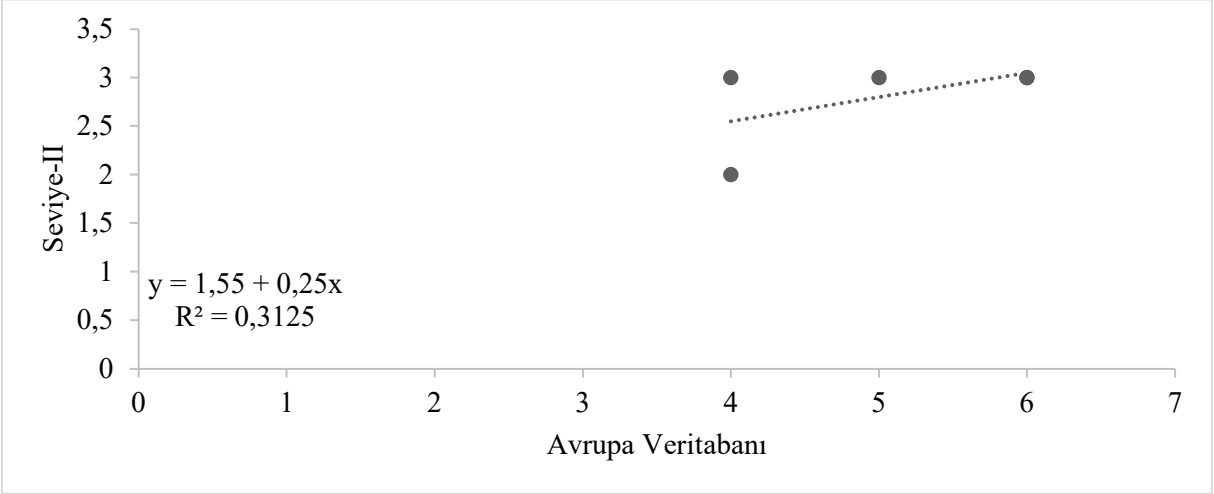
Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak altı karbonu sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar Seviye II ile toprak üstü karbon'un %1'i kabul edilerek hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü kapsamında yapılan modelleme ve Seviye-II hesaplama sonucu bulunan toprak altı karbonu değerlerinin zamansal değişimi ve yukarıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 3.22).

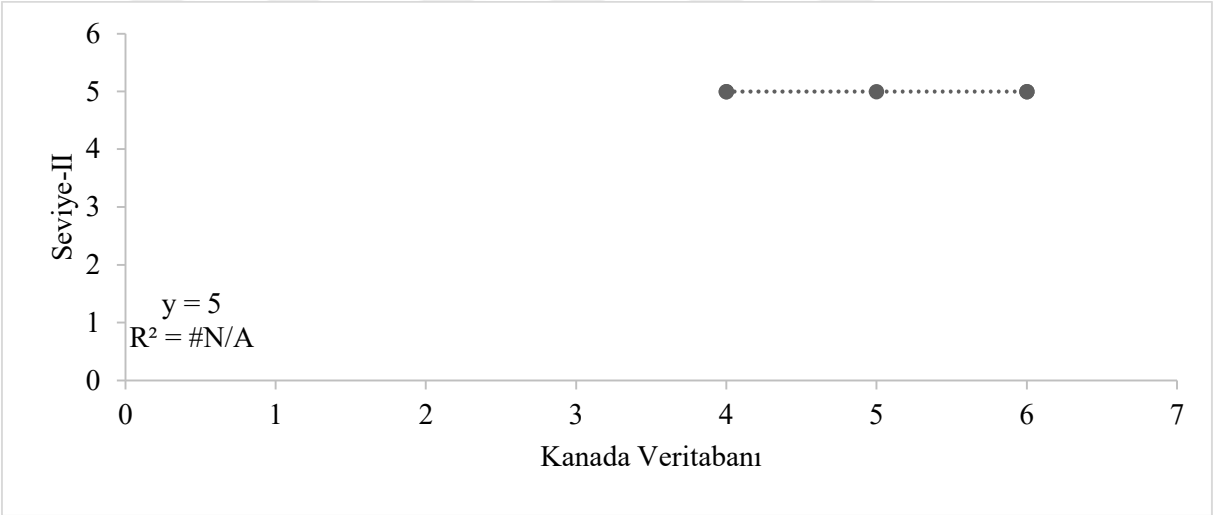


Şekil 3.22: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi.

Toprak üstü biyokütle karbon havuzunda olduğu gibi toprak altı biyokütle havuzu için de CBM-CFS3 Avrupa Veri Tabanı, Kanada Veri Tabanına göre daha fazla uyum göstermiştir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).



Şekil 3.23: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü toprak altı karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.

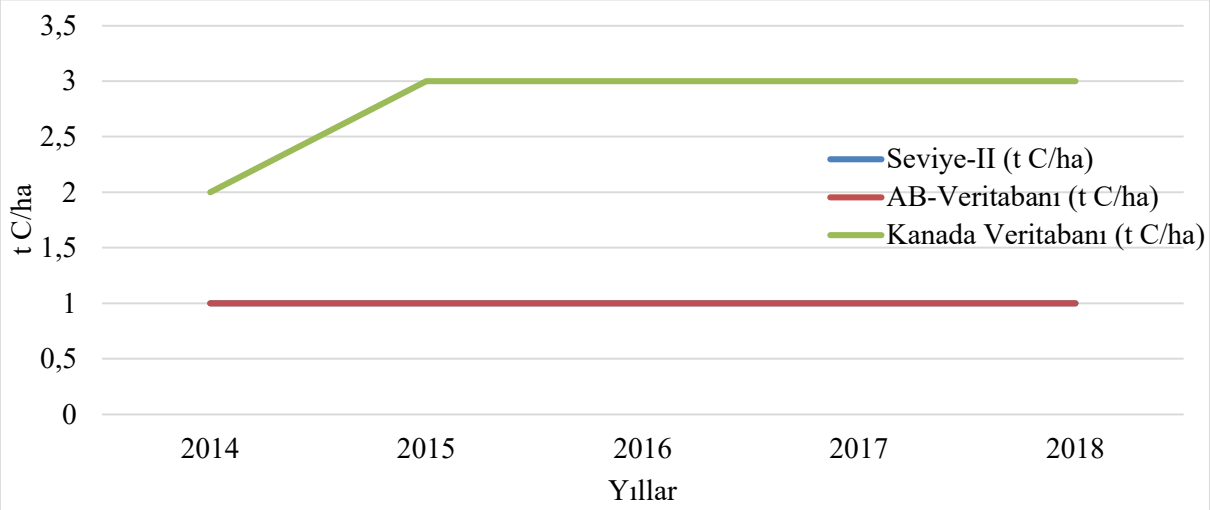


Şekil 3.24: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü toprak altı karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.1.1.3. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Sonuçları

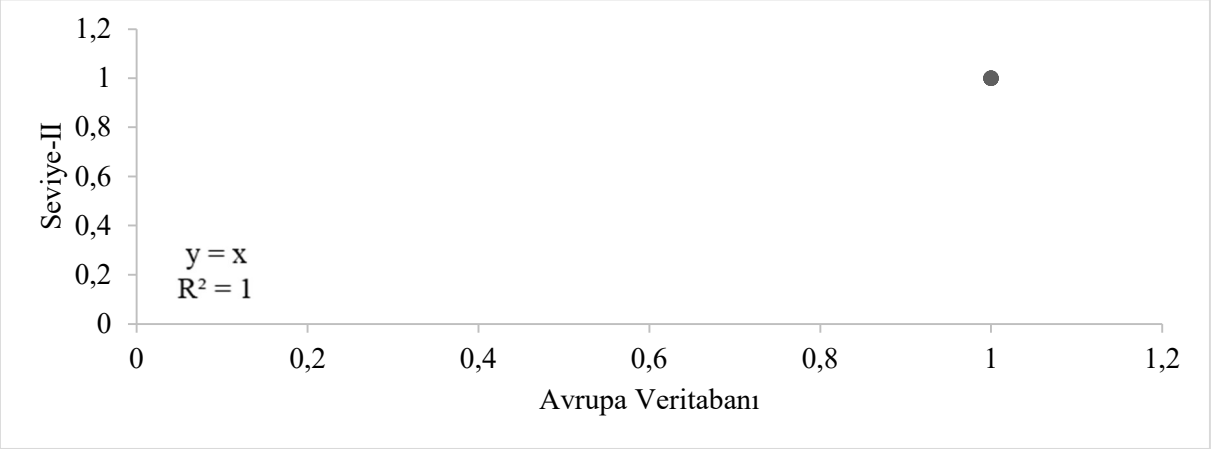
2014 ve 2018 yılları arasında Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait ölü odun karbonu sonuçları verilmiştir (Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü kapsamında yapılan modelleme ve Seviye-II hesaplama sonucu bulunan ölü odun karbonu değerlerinin zamansal değişimi ve yukarıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 3.25).

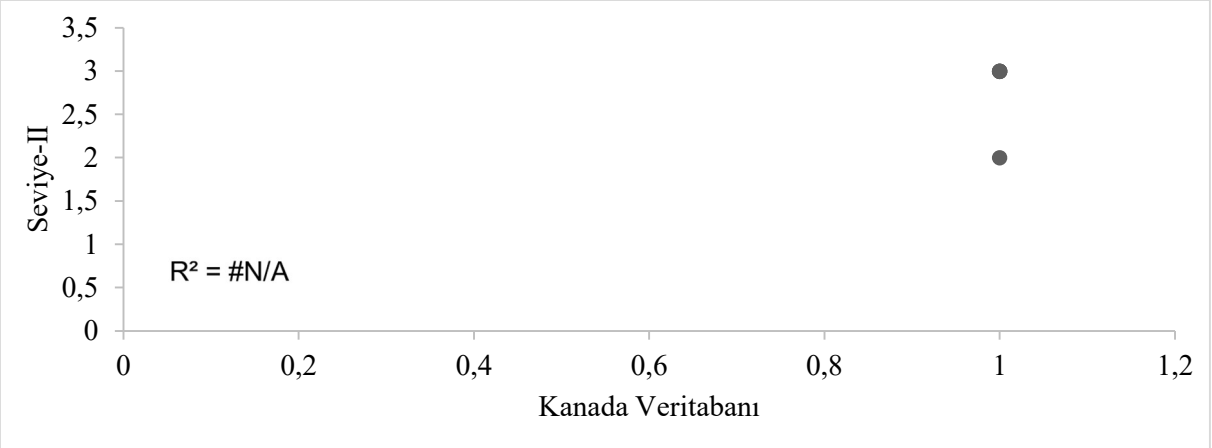


Şekil 3.25: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi.

Diğer karbon havuzlarında olduğu gibi ölü odun havuzunda da Avrupa veri tabanı Seviye-II hesaplamaları ile daha fazla uyum göstermiştir (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27).



Şekil 3.26: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.

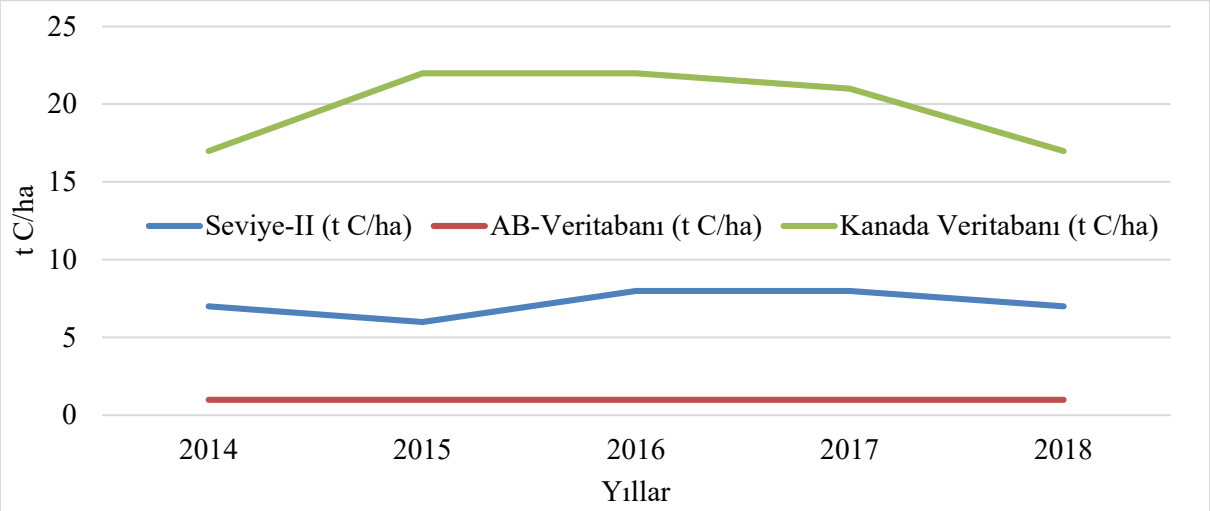


Şekil 3.27: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.1.1.4. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Sonuçları

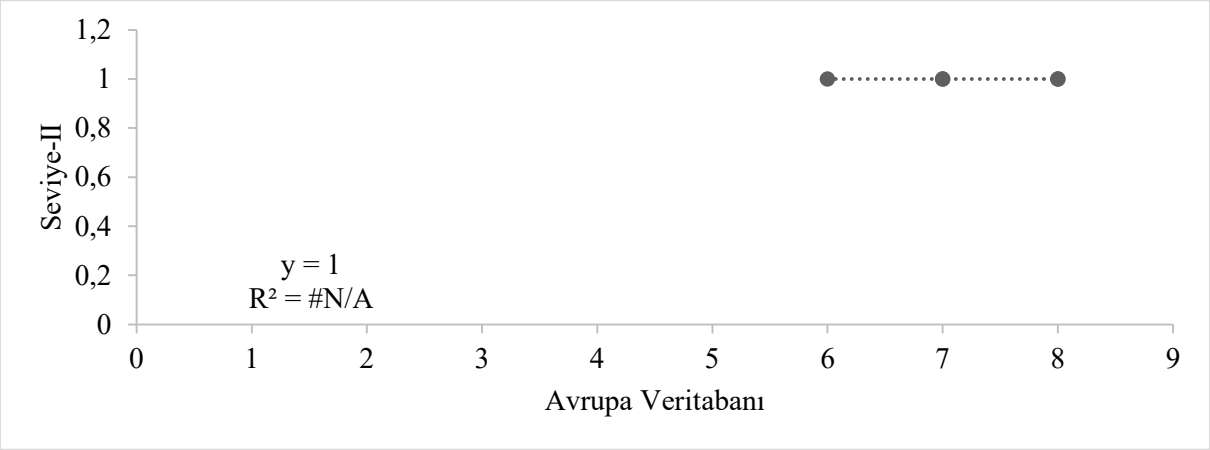
2014 ve 2018 yılları arasında Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait ölü örtü karbonu sonuçları verilmiştir (Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü kapsamında yapılan modelleme ve Seviye-II hesaplama sonucu bulunan ölü örtü karbonu değerlerinin zamansal değişimi ve yukarıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 3.28).

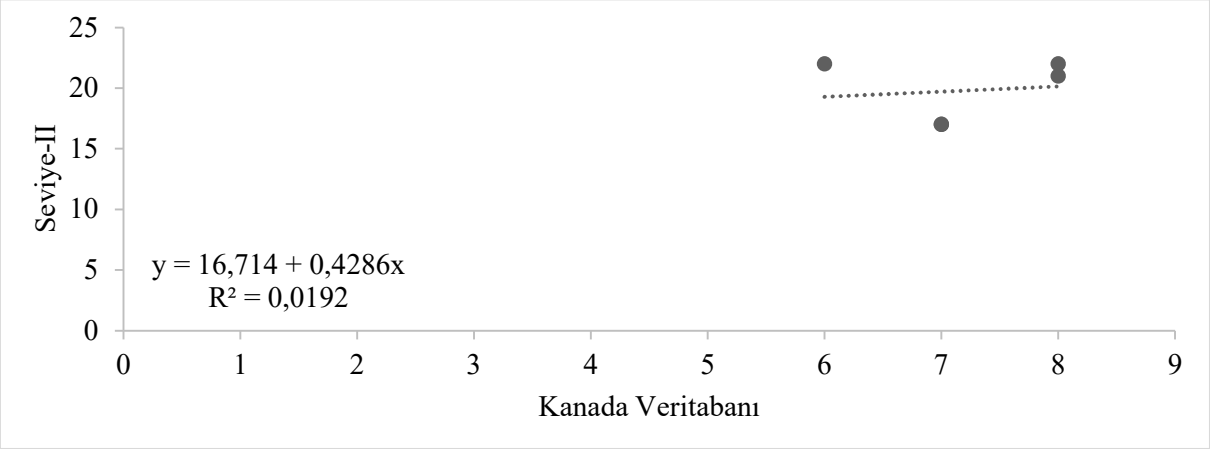


Şekil 3.28: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi.

Ölü Örtü karbonu havuzunda Kanada veri tabanı Seviye-II hesaplamaları ile daha yakın bir istatistiki ilişkiye sahiptir (Şekil 3.29 ve Şekil 3.30).



Şekil 3.29: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.

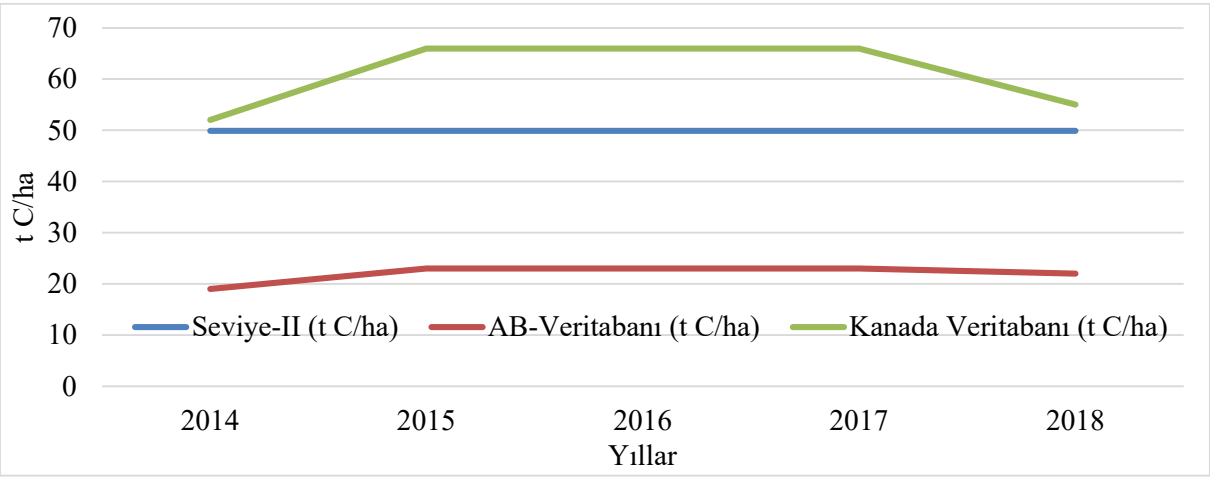


Şekil 3.30: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye-II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.1.1.5. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Sonuçları

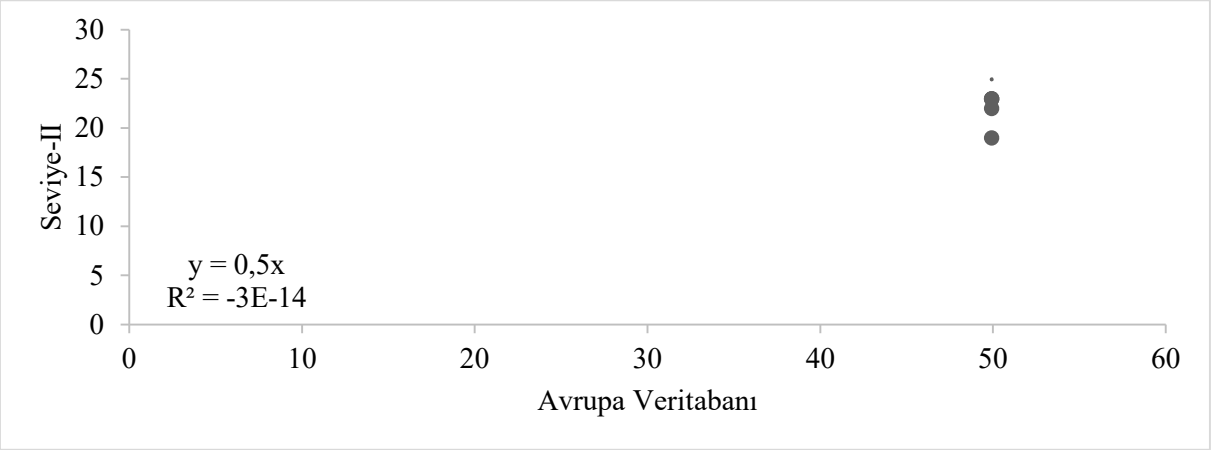
2014 ve 2018 yılları arasında Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak karbonu sonuçları verilmiştir (Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

Ankara Orman Bölge Müdürlüğü kapsamında yapılan modelleme ve Seviye-II hesaplama sonucu bulunan toprak karbonu değerlerinin zamansal değişimi ve yukarıdaki grafikte toplam olarak görülmektedir (Şekil 3.31).

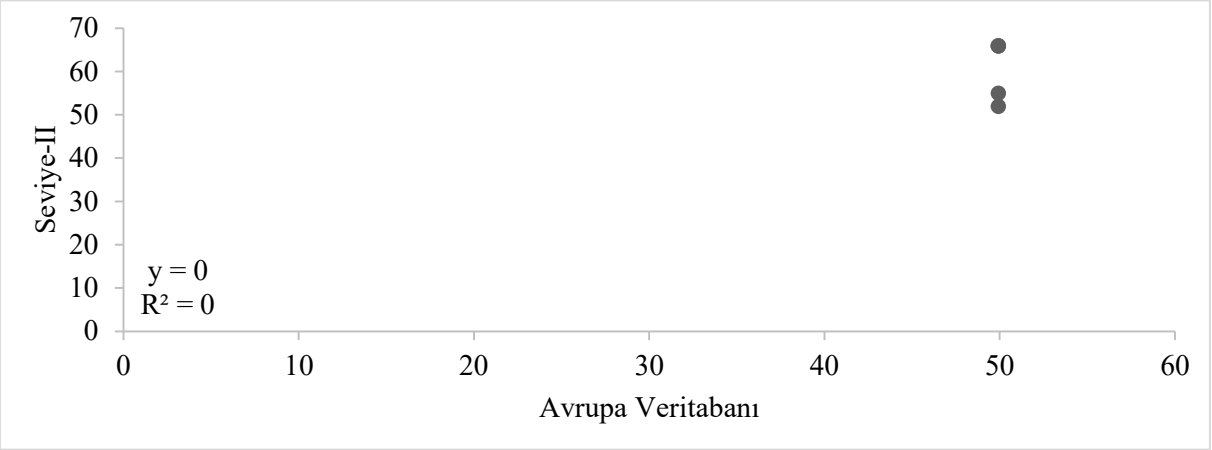


Şekil 3.31: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi.

Toprak karbonu sonuçları incelendiğinde Ankara Orman Bölge Müdürlüğü için Kanada veritabanı ve Avrupa veritabanına için Seviye-II sonuçları ile istatistiki anlamda yüksek bir ilişki bulanamamıştır (Şekil 3.32 ve Şekil 3.33).



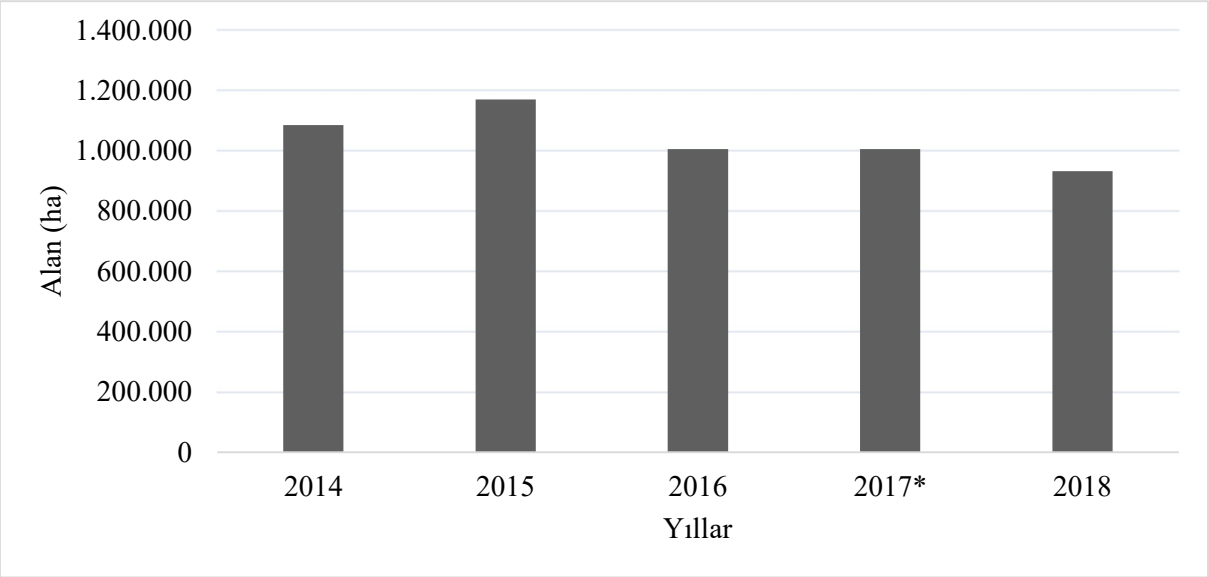
Şekil 3.32: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye-II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.33: Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.2. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne (Şekil 3.35) ait orman alanlarının 2014-2018 yılları arasında değişimi gözükebilmektedir (Şekil 3.34). 2017 yılına ait envanter veri tabanı OGM'den sağlanılamamıştır bu sebeple de 2017 yılı orman arazi miktarının 2016 yılı ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Aynı zamanda kesim (eta) miktarları da bir önceki yıl olan 2016 ile aynı olarak kabul edilmiştir. Ancak değişiklik olarak meşcereler bir yıl yaşlanmış ve yıllık ortalama çap artımı dolayısıyla hacimsel bir gelişimi simüle edilmiştir.



Şekil 3.34: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait ormanlık alanların zamansal değişimi..

Antalya Bölge Müdürlüğü için 2014-2018 yılları arasında Seviye II ve CBM-CFS3 simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar tüm karbon havuzları hektar bazında verilmiştir (Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8).

Tablo 3.6: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II Sonuçları (1 Hektara göre).

Seviye II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Toprak Üstü	22	24	25	26	33
Toprak Altı	5	5	6	6	8
Ölü Odun	1	1	1	1	1
Ölü Örtü	8	7	7	7	9
Toprak	46.08	46.08	46.08	46.08	46.08
Toplam	82	83	85	86	97

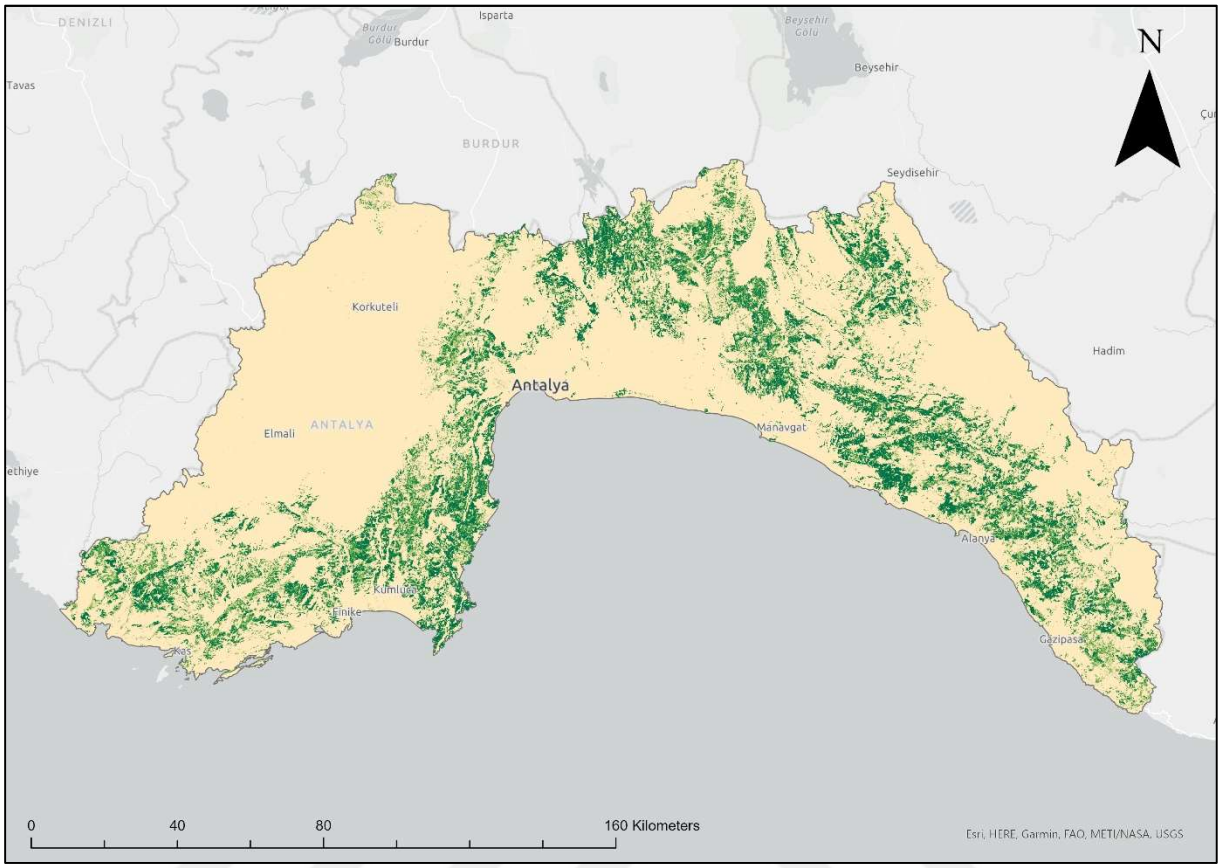
Tablo 3.7: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	5	7	7	7	7
Toprakaltı Biyokütle	3	4	4	4	4
Ölü Odun	0	0	1	1	1
Ölü Örtü	0	0	2	0	0
Toprak	27	28	28	28	29
Toplam	35	39	42	40	41

Tablo 3.8: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	19	22	22	22	22
Toprakaltı Biyokütle	4	6	5	5	5
Ölü Odun	3	4	4	4	4
Ölü Örtü	24	34	28	28	29
Toprak	57	79	67	67	69
Toplam	107	145	126	126	129

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü için yapılan CBM-CFS3 hesaplamalarında yıllık ortalama sıcaklık 17,8 °C olarak alınmıştır.

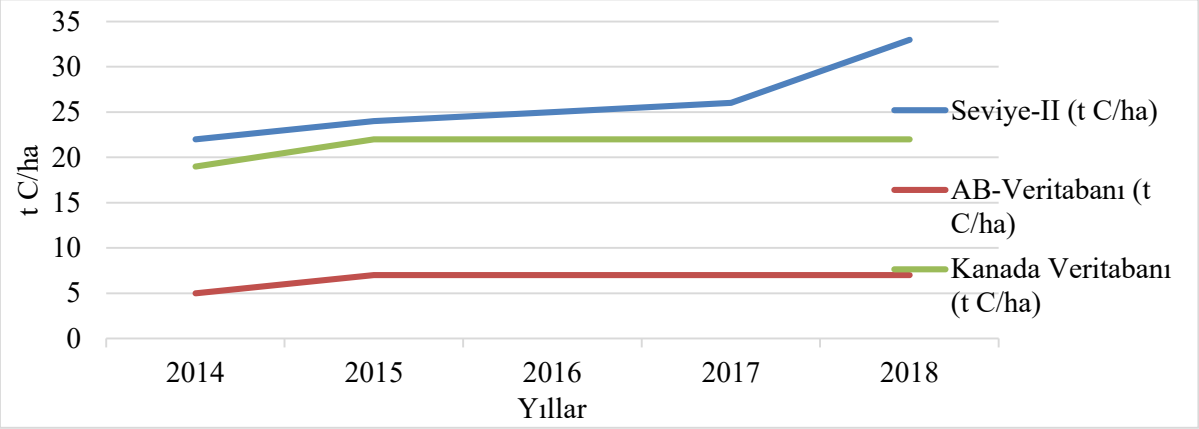


Şekil 3.35: 2015 Yılı itibarıyla Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait ormanlık alanları gösterir harita.

3.4.2.1. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları

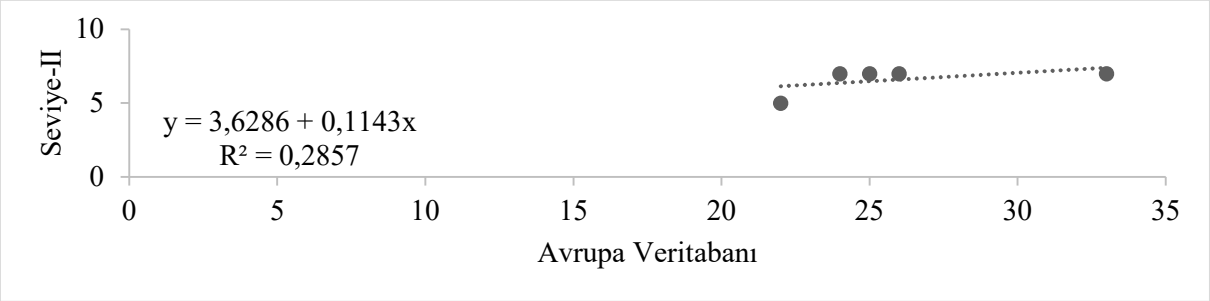
3.4.2.1.1. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak üstü karbonu sonuçları verilmiştir (Tablo 3.6, Tablo 3.7, Tablo 3.8 ve Şekil 3.36). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

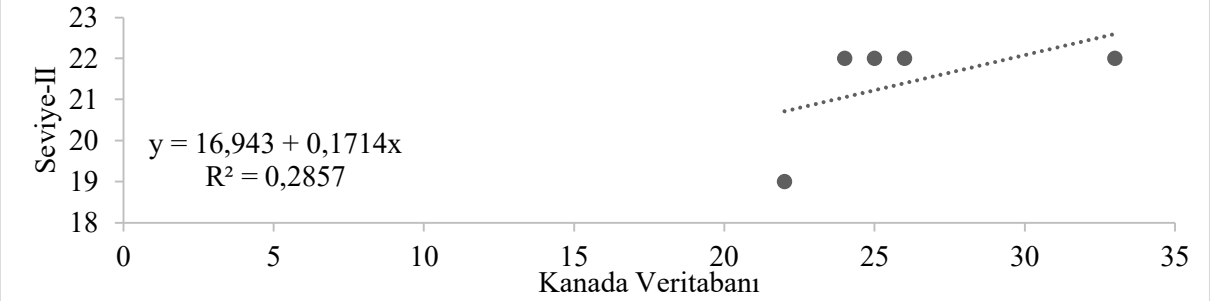


Şekil 3.36: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.

Toprak üstü karbon değerleri istatistiksel olarak karşılaştırıldığında diğer karbon havuzlarında olduğu gibi Avrupa veritabanı Seviye-II ölçümlerine daha anlamlı bir ilişki ortaya koymuştur (Şekil 3.37 ve 3.38).



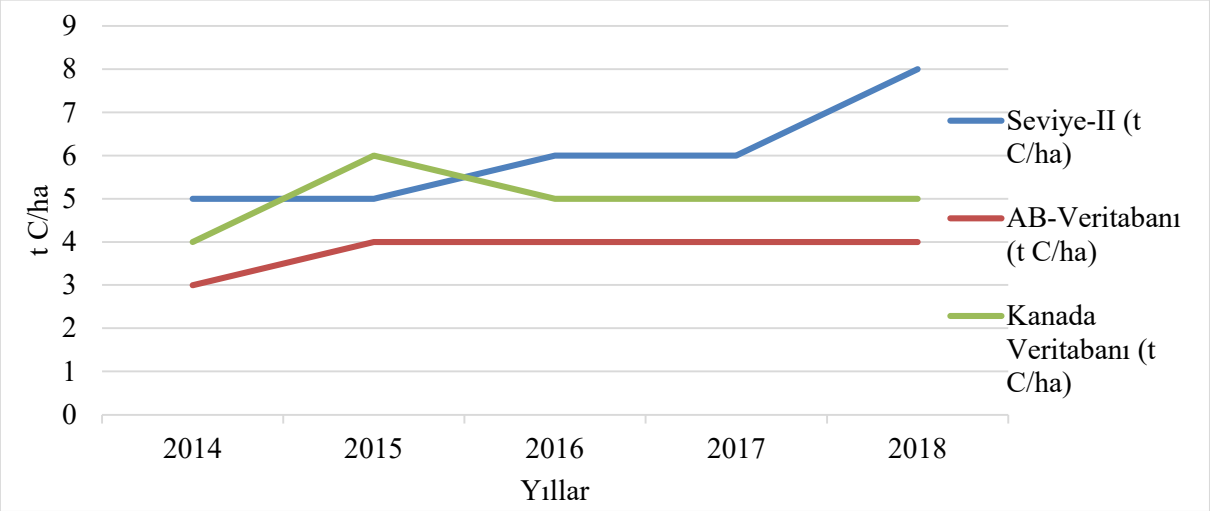
Şekil 3.37: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.38: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

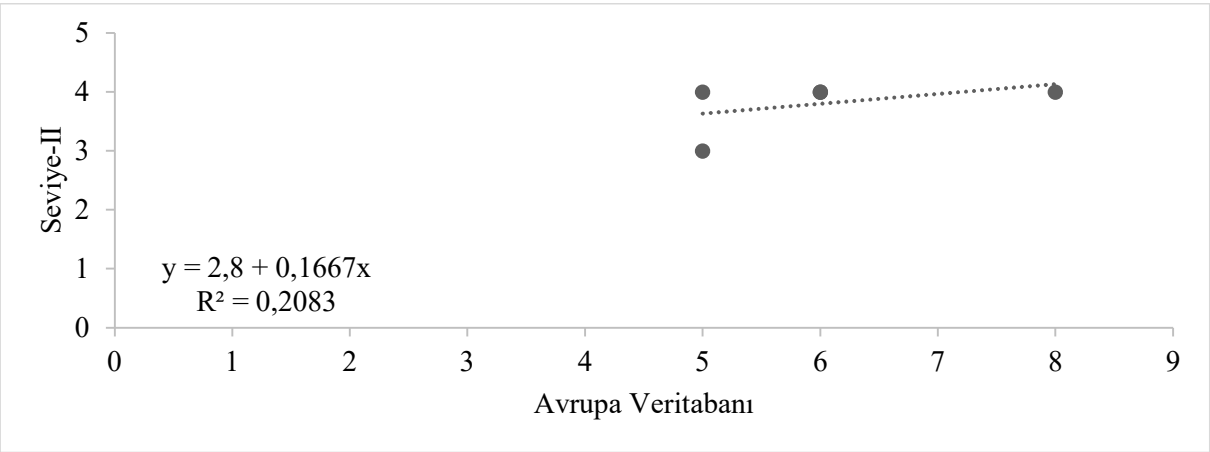
3.4.2.1.2. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak altı karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.39). Bu sonuçlar Seviye II ile toprak üstü karbonun %1'i kabul edilerek hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simule edilmiştir.

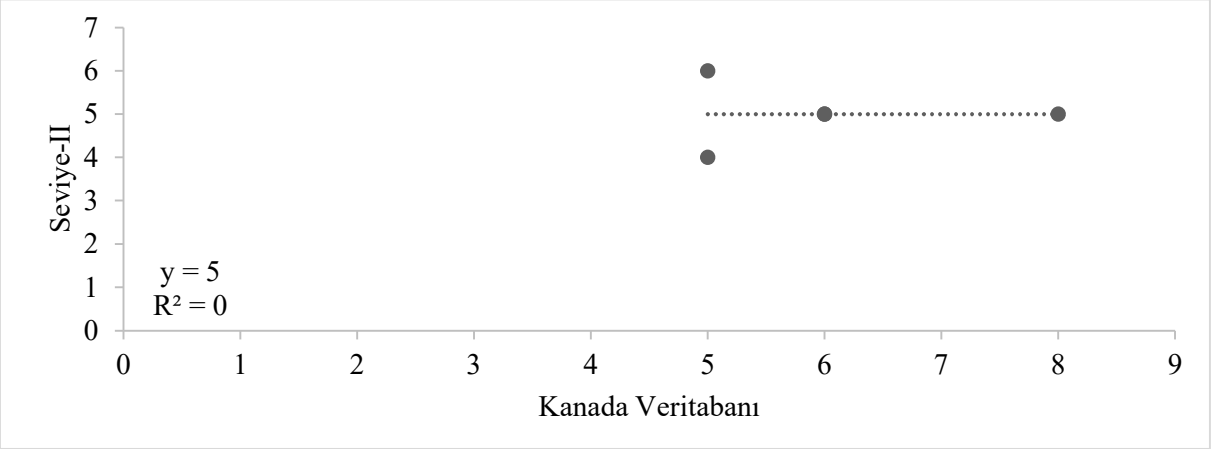


Şekil 3.39: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi.

Toprak altı karbonu havuzunda yapılan ikili regresyon sonucu Avrupa veritabanı Seviye-II'ye daha uyumlu bir yapı göstermiştir (Şekil 3.40 ve Şekil 3.41).



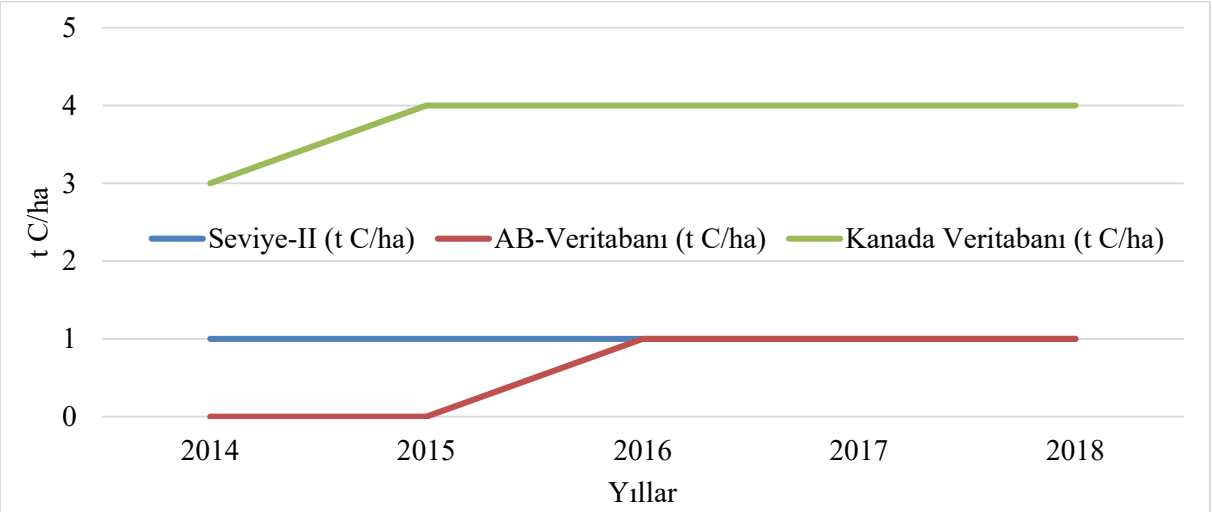
Şekil 3.40: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.41: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

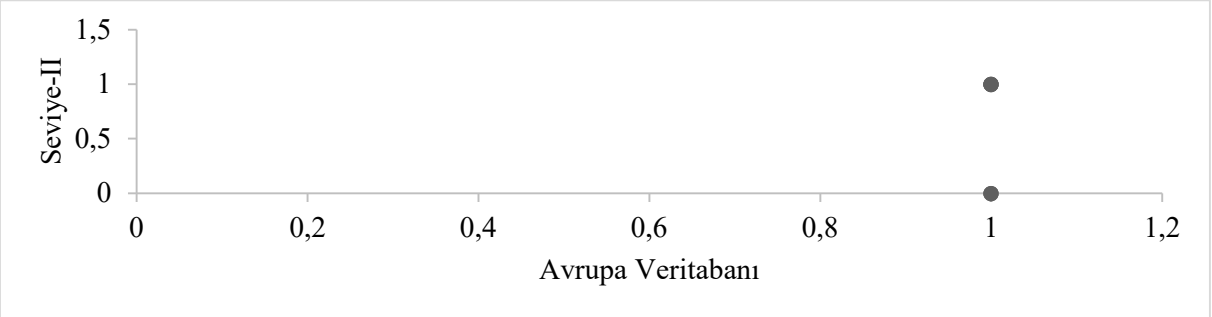
3.4.2.1.3. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait ölü odun karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.42). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simule edilmiştir.

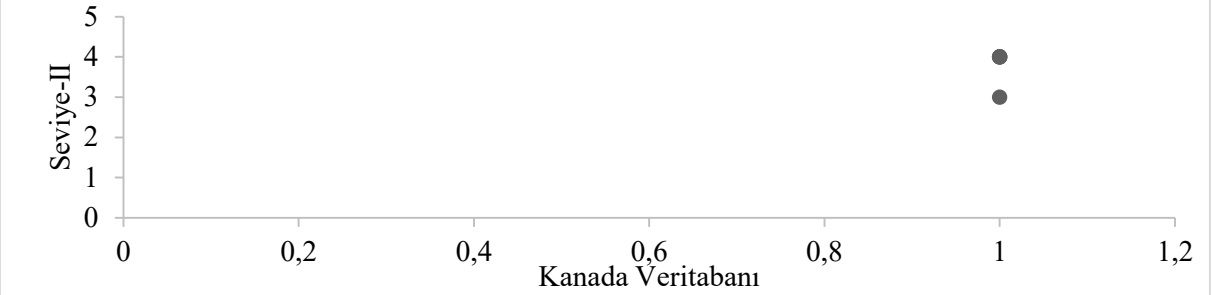


Şekil 3.42: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi.

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü için yapılan hesaplamalar sonucu ölü odun karbon havuzunun CBM-CFS3 hesaplamaları arasında Seviye-II, Avrupa veritabanı ve Kanada veritabanları arasında istatistiksel anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 3.43 ve 3.44).



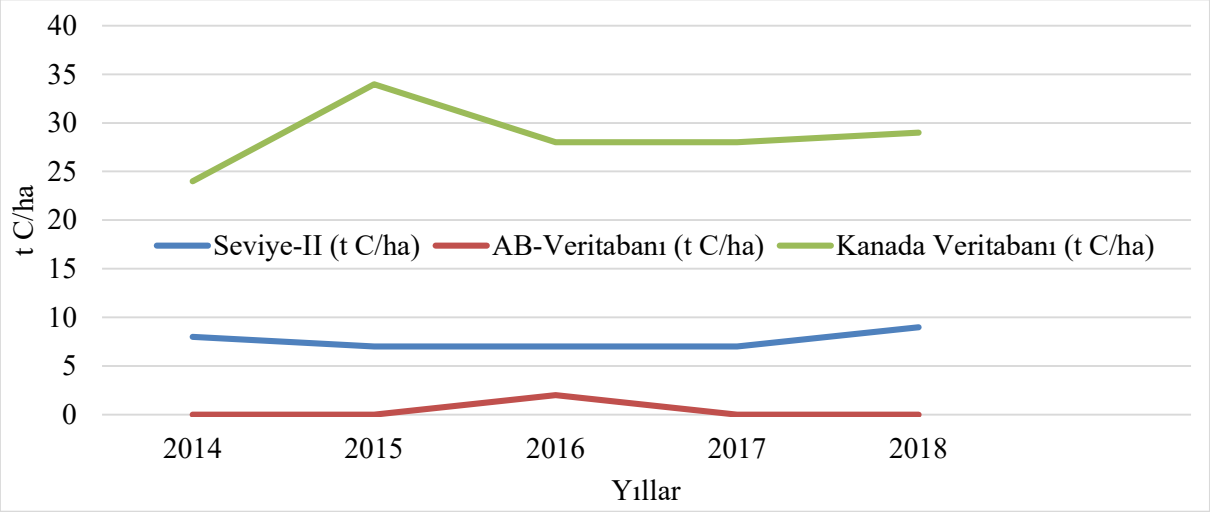
Şekil 3.43: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.44: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

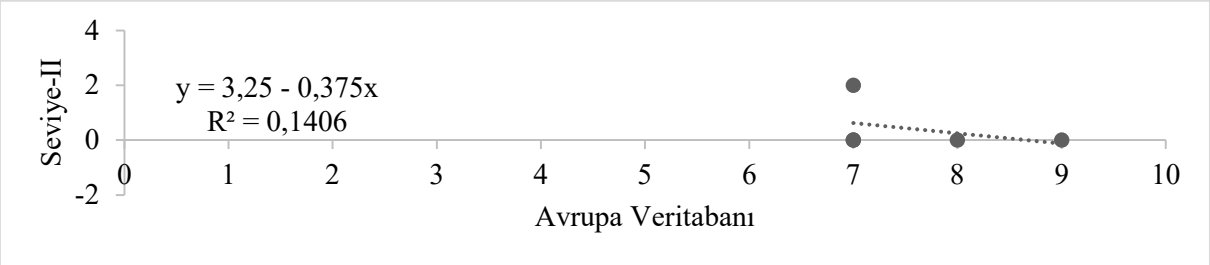
3.4.2.1.4. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait ölü örtü karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.45). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simule edilmiştir.

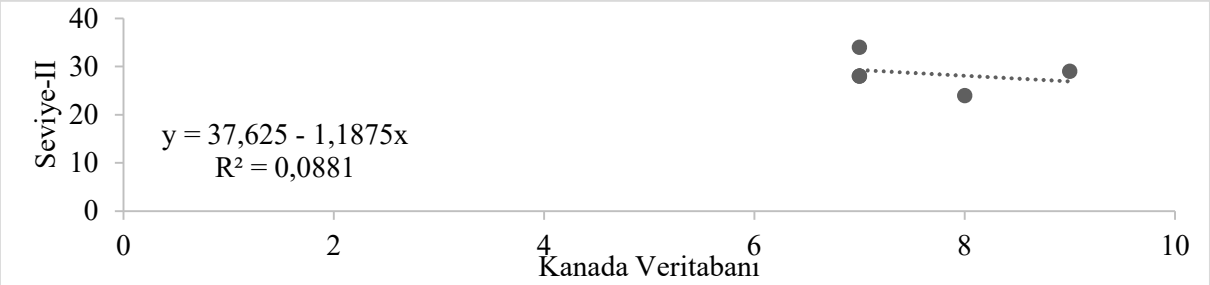


Şekil 3.45: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi.

Diğer karbon havuzlarında olduğu gibi ölü örtü havuzunda da Avrupa veri tabanı Kanada veri tabanına göre Seviye-II sonuçlarına göre daha anlamlı bir istatistiksel düzey yakalamıştır (Şekil 3.46- ve Şekil 3.47).



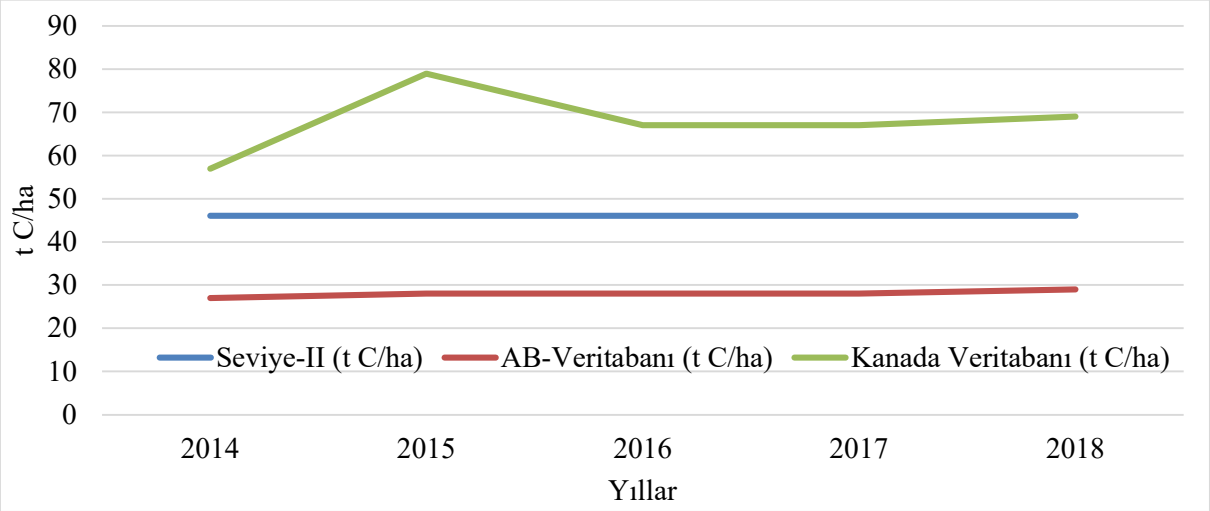
Şekil 3.46: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.47: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

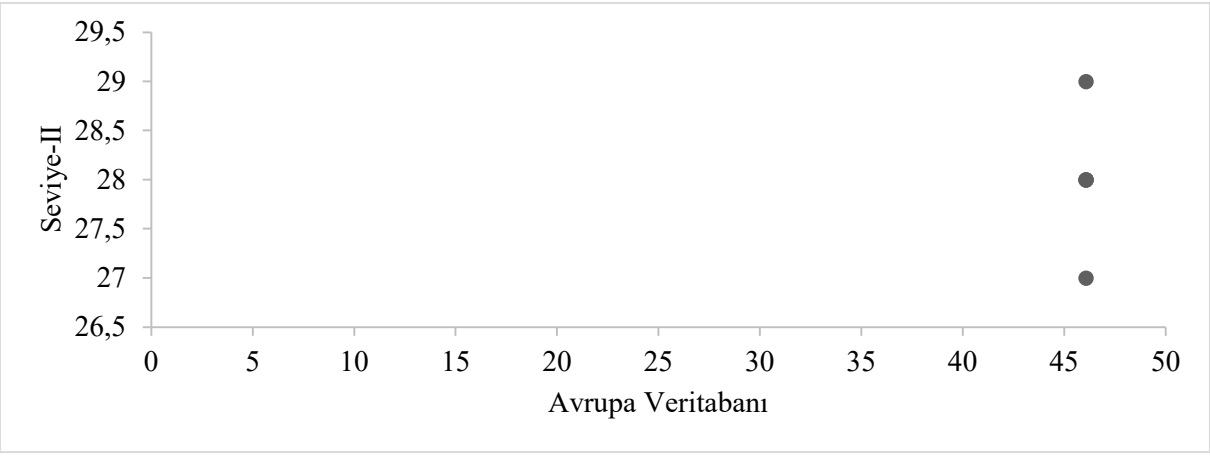
3.4.2.1.5. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.48). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

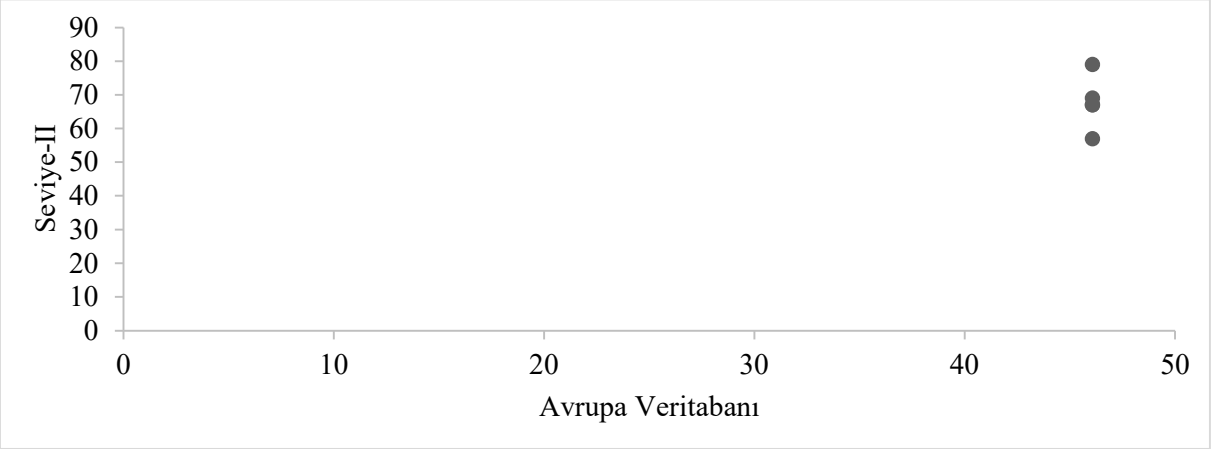


Şekil 3.48: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi.

Antalya Orman Bölge Müdürlüğüne ait modelleme sonuçları kıyaslandığında Seviye-II hesaplamalarına göre istatistik anlamda bir ilişkinin kurulamadığı görülmektedir (Şekil 3.49 ve Şekil 3.50).

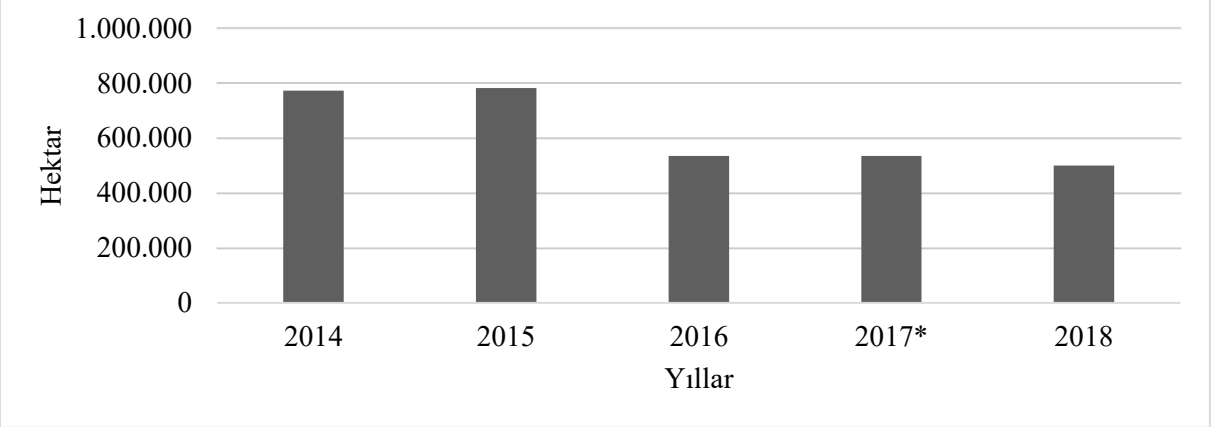


Şekil 3.49: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.



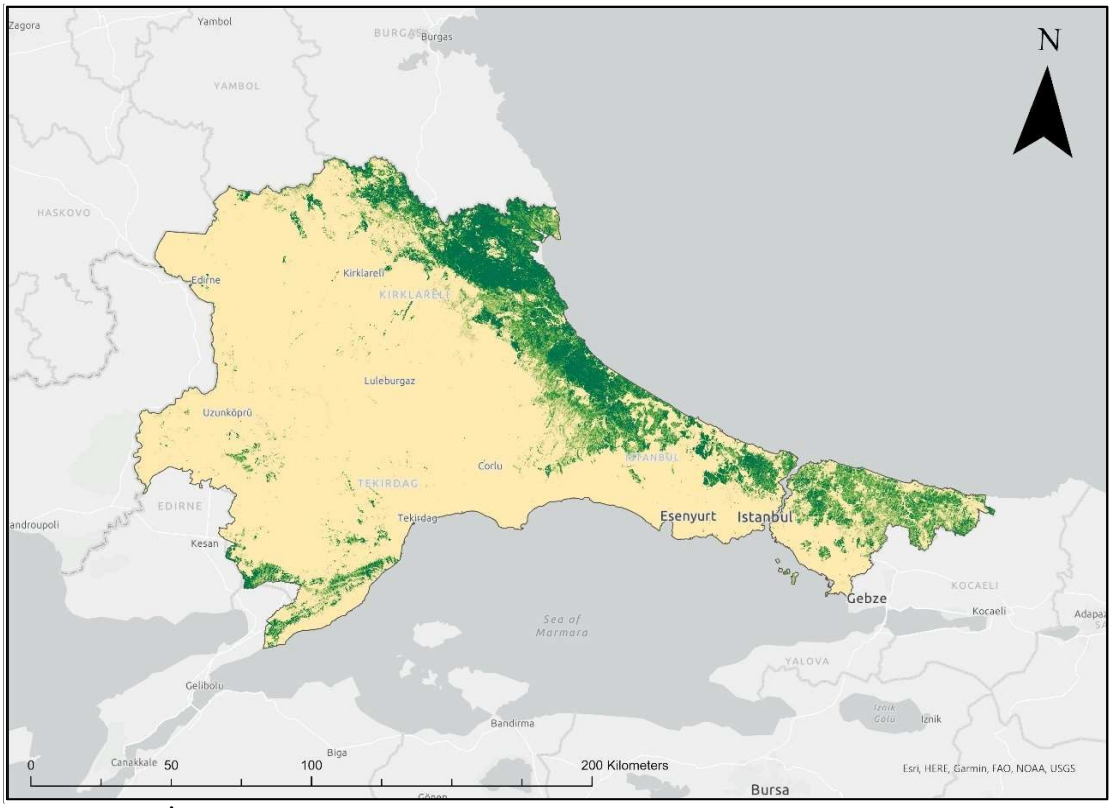
Şekil 3.50: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.3. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü



Şekil 3.51: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Yıllara Göre toplam alan değişimi.

Yukarıdaki grafikte (Şekil 3.51) İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait orman alanlarının 2014-2018 yılları arasında değişimi gözükebilmektedir. 2017 yılı yine diğer orman bölge müdürlükleri gibi 2016 yılından üretilmiş ve 1 yıllık artım önceki yıllara bağlı olarak hesaplanan (ENVANIS'te belirlenmiş) meşcere yıllık ortalama artımı doğrultusunda hesaplanmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık 14,4 °C olarak alınmıştır.



Şekil 3.52: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne ait ormanlık alanları gösterir harita (2015 Yılı).

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne ait Seviye-II, CBM-CFS3 Avrupa veritabanı ve CBM-CFS3 Kanada veritabanı sonuçları yukarıdaki tablolarda verilmiştir (Tablo 3.9; Tablo 3.10 ve Tablo 3.11).

Tablo 3.9: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II Sonuçları (1 Hektara göre)

Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	33	30	31	32	17
Toprakaltı Biyokütle	8	7	7	7	4
Ölü Odun	1	1	1	1	1
Ölü Örtü	4	4	4	4	8
Toprak	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
Toplam	98	94	95	96	82

Tablo 3.10: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	11	12	13	13	17
Toprakaltı Biyokütle	5	5	5	5	7
Ölü Odun	1	2	2	2	3
Ölü Örtü	2	2	2	2	3
Toprak	38	39	39	39	45
Toplam	57	60	61	61	75

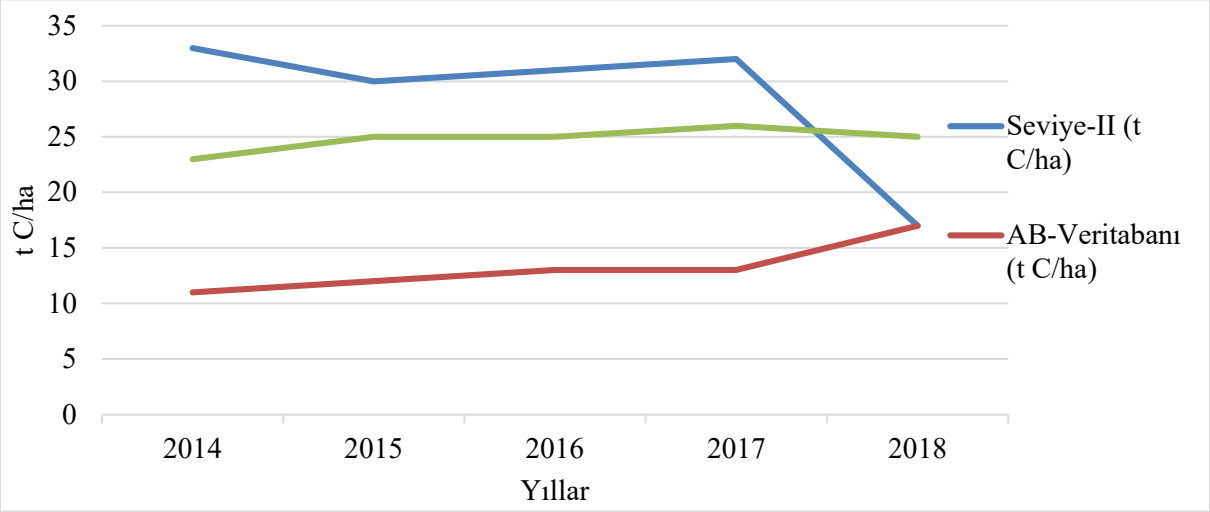
Tablo 3.11: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	23	25	25	26	25
Toprakaltı Biyokütle	5	8	8	8	5
Ölü Odun	7	8	8	8	14
Ölü Örtü	50	66	66	66	43
Toprak	108	134	135	135	96
Toplam	193	241	242	243	183

3.4.3.1. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları

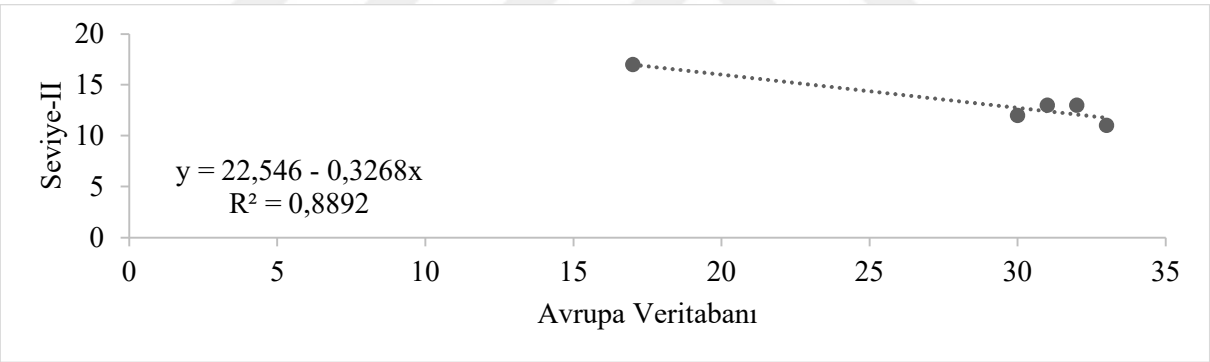
3.4.3.1.1. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak üstü karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.53). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

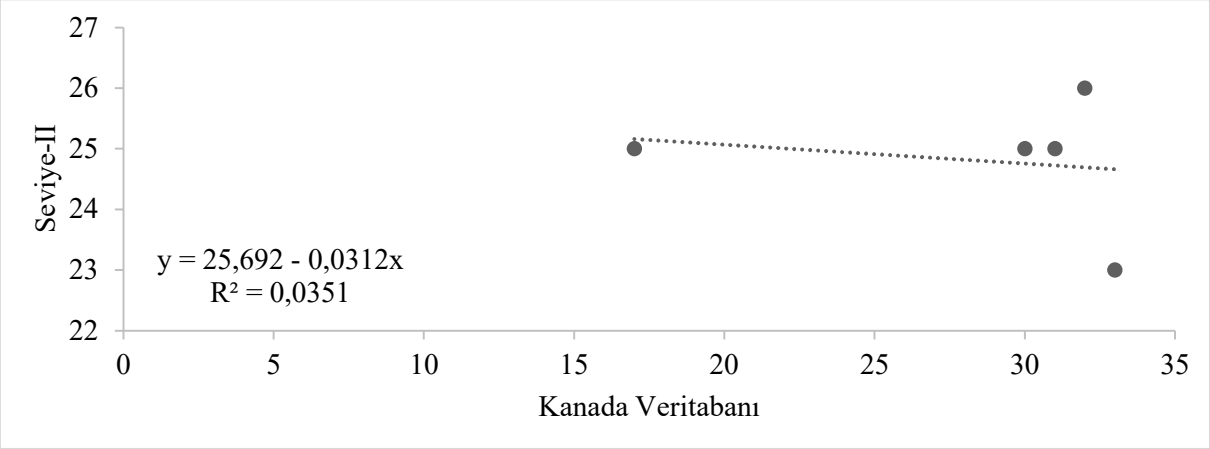


Şekil 3.53: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan ormanların toprak üstü karbonu sonuçları incelendiğinde Seviye-II sonuçları ile istatistiksel anlamda daha yüksek anlamlılık seviyesine sahip olan veri tabanı Avrupa veri tabanı olmuştur (Şekil 3.54 ve 3.55).



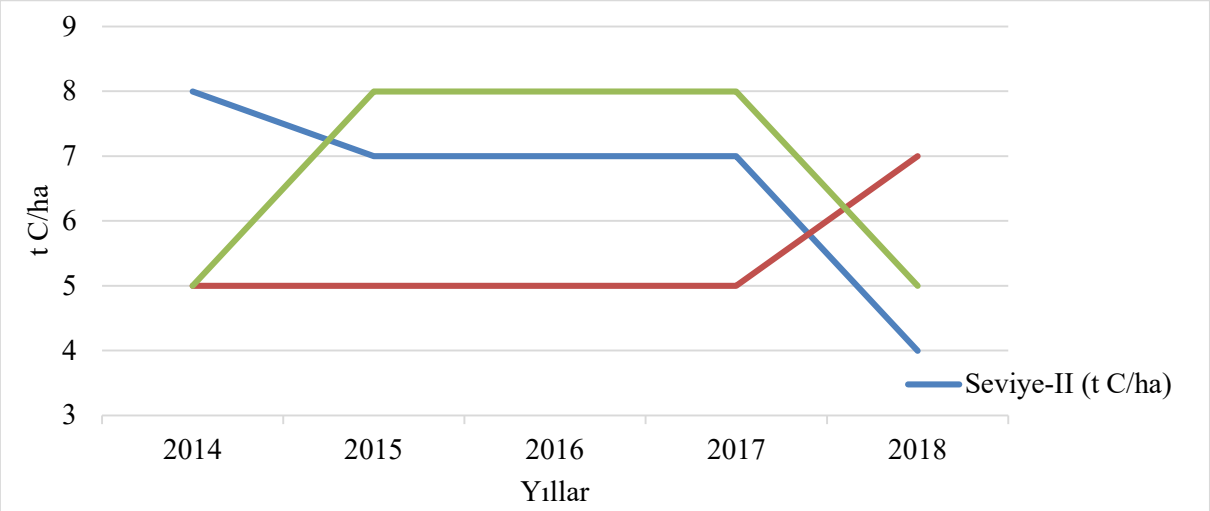
Şekil 3.54: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.55: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.3.1.2. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Sonuçları

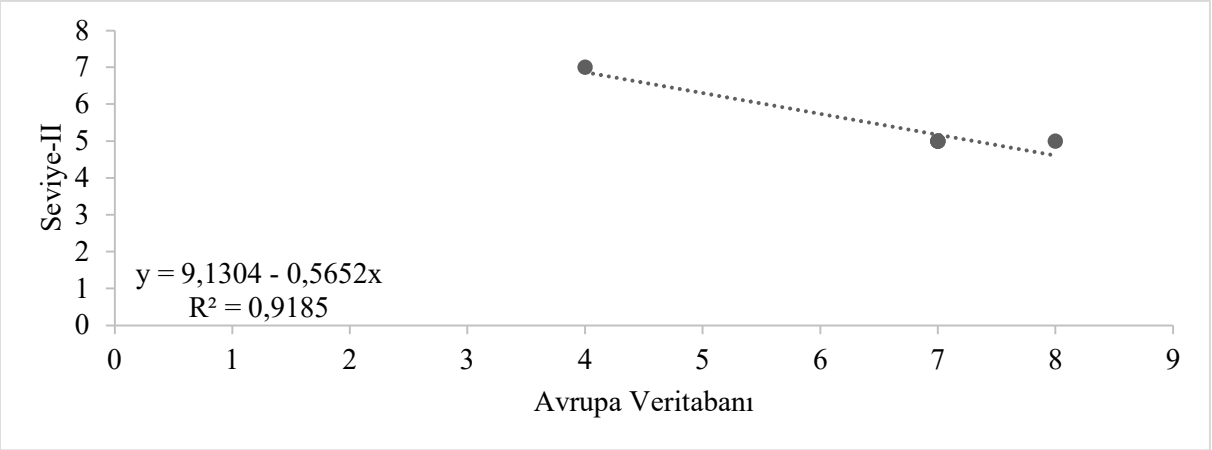
2014 ve 2018 yılları arasında İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü ormanlık alanları kapsamında ENVANIS'ten alınmış veriler doğrultusunda hesaplanan toprak altı karbonu değerleri yer almaktadır (Şekil 3.56). Bu değerler toprak üstü karbonunun 0,23 katsayısı ile çarpılarak raporlandığı için bu tez kapsamında da aynı yöntem ile hesaplanmıştır. 0,23 katsayısı kök-gövde oranından gelen bir katsayıdır.



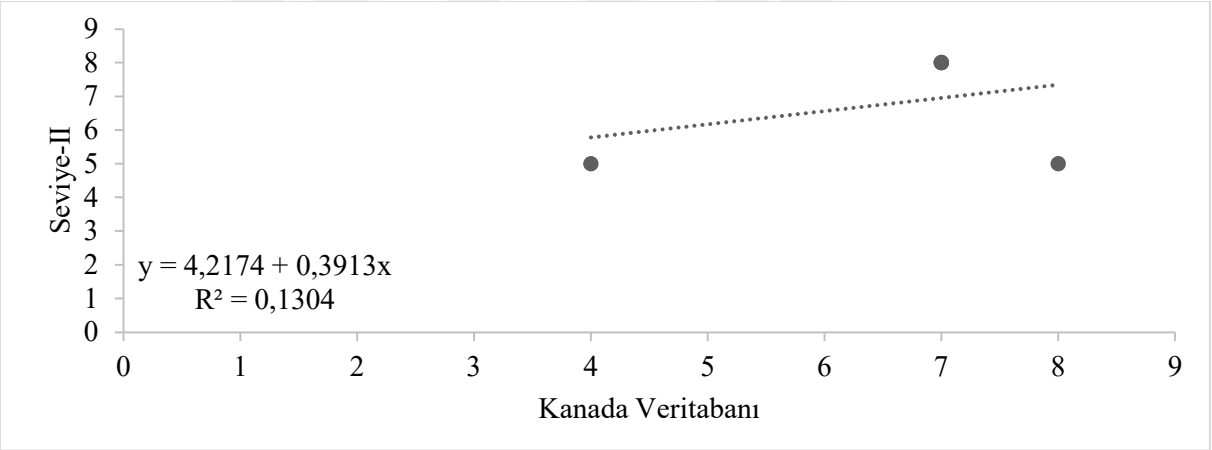
Şekil 3.56: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi.

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan ormanların toprak altı karbonu sonuçları incelendiğinde; toprak üstü karbonu havuzunda olduğunun aksine Seviye-II sonuçları

ile istatistiksel anlamda daha yüksek anlamlılık seviyesine sahip olan veri tabanı Avrupa veri tabanı olmuştur (Şekil 3.57 ve Şekil 3.58).



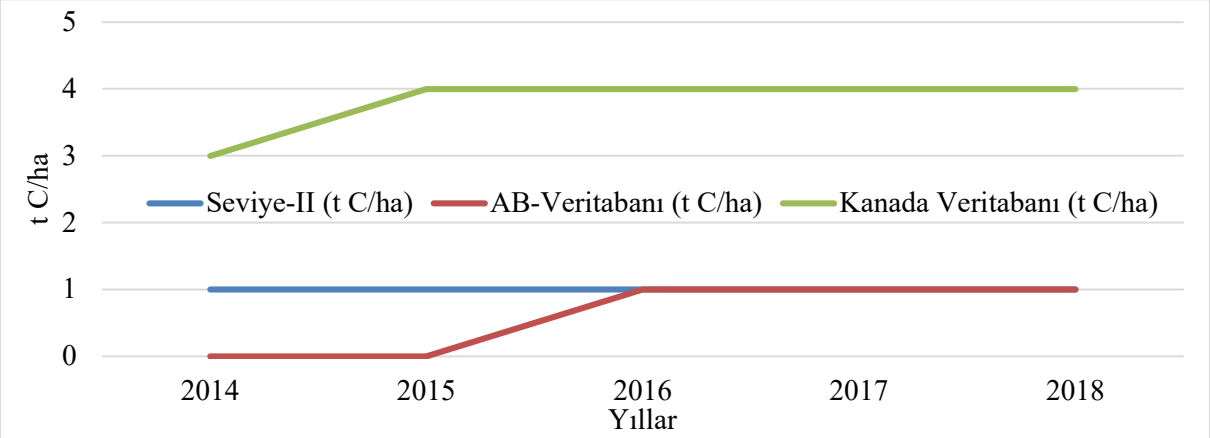
Şekil 3.57: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.58: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

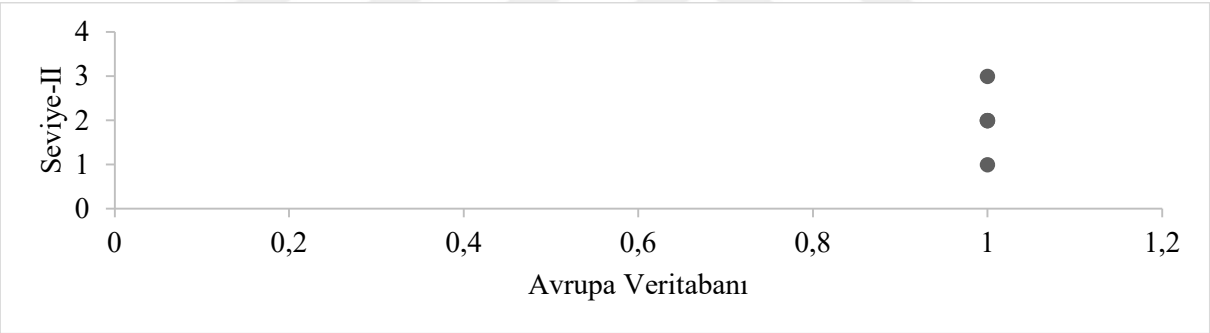
3.4.3.1.3. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Sonuçları

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü ormanlık alanları için 2014-2018 yılları arasında yapılan hesaplamalarda aynı diğer bölge müdürlükleri için yapılmış olan hesaplamalarda olduğu gibi ölü odun miktarı yaklaşık olarak toprak üstü karbon miktarının %1'i olarak kabul edilmiştir. Aşağıdaki tabloda yıllara bağlı olarak değişim gösterilmektedir (Şekil 3.59).

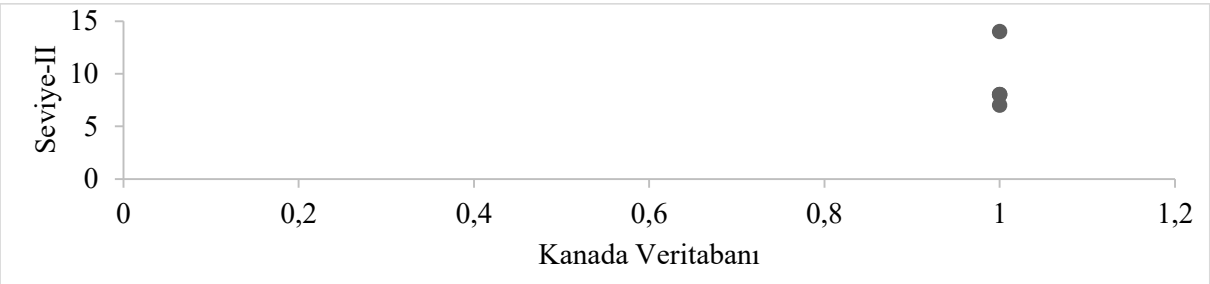


Şekil 3.59: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi.

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü toprak altı karbonu sonuçları incelendiğinde; toprak üstü biyokütle karbonu havuzunda olduğunun aksine Seviye-II sonuçları ile istatistiksel anlamda bir ilişki saptanamamıştır (Şekil 3.60 ve Şekil 3.61).



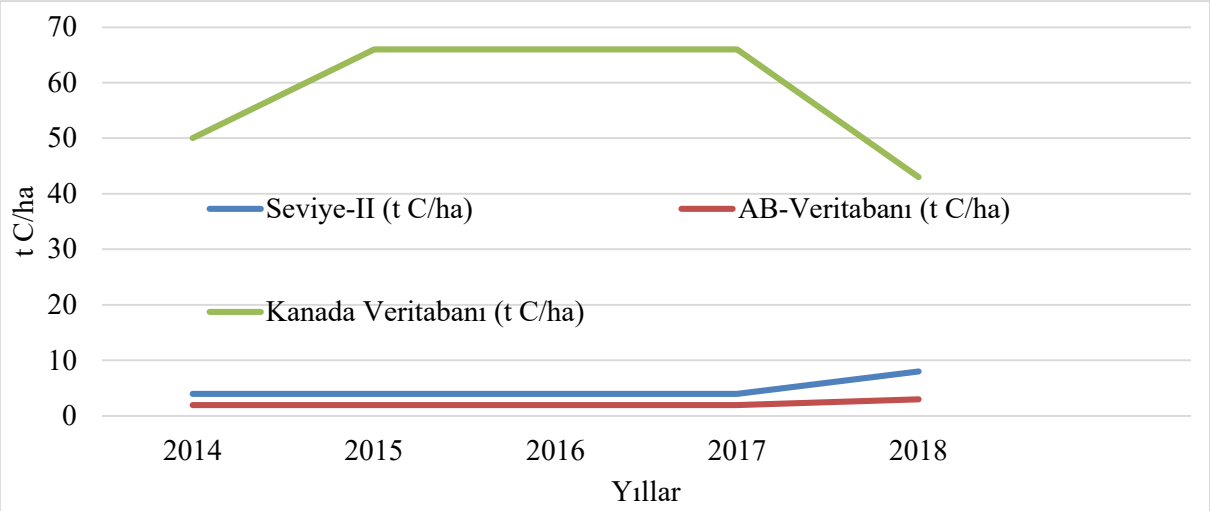
Şekil 3.60: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.61: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

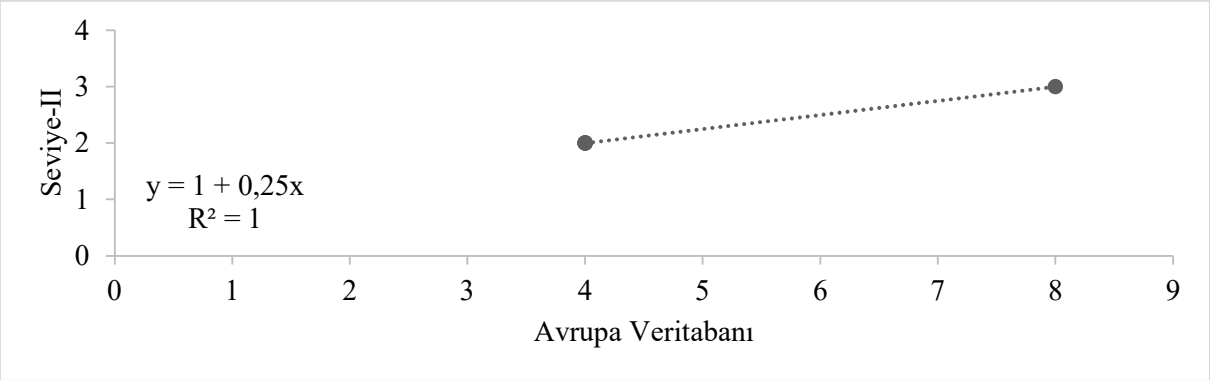
3.4.3.1.4. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait ölü örtü karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.62). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir. Aşağıda ise 2014-2018 yılları arasındaki zamansal seyir grafiği görülmektedir.

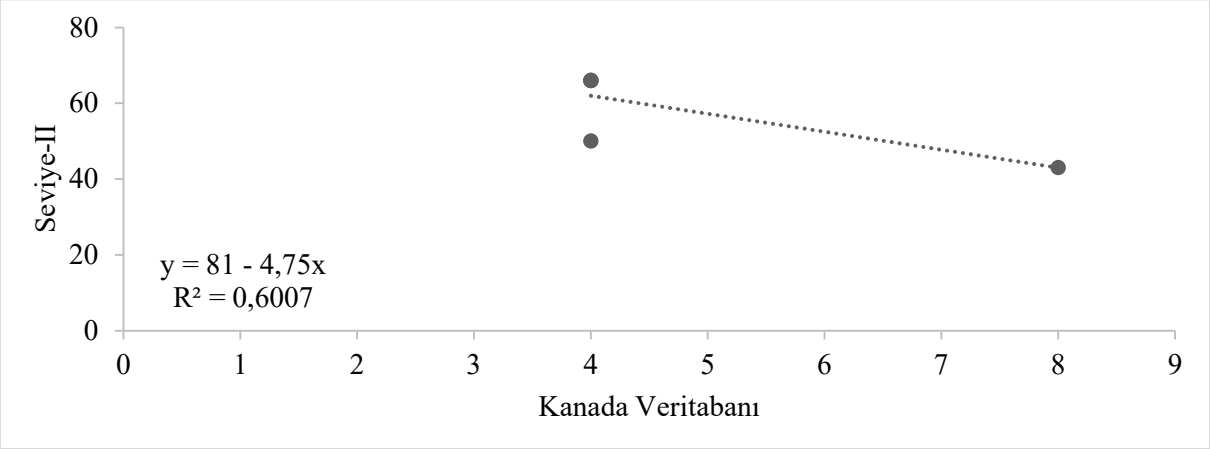


Şekil 3.62: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi.

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü ölü örtü karbonu sonuçları incelendiğinde aynı diğer karbon havuzlarında olduğu gibi Seviye-II sonuçları ile istatistiksel anlamda daha yüksek ilişkiye sahip olan veri tabanı Avrupa olmuştur (Şekil 3.63 ve Şekil 3.64).



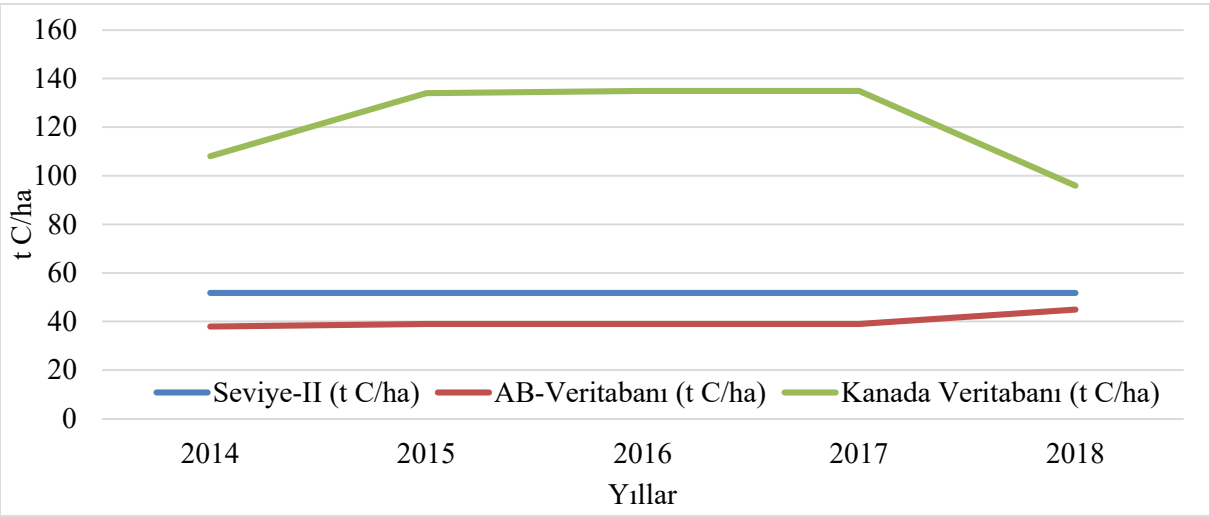
Şekil 3.63: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.64: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

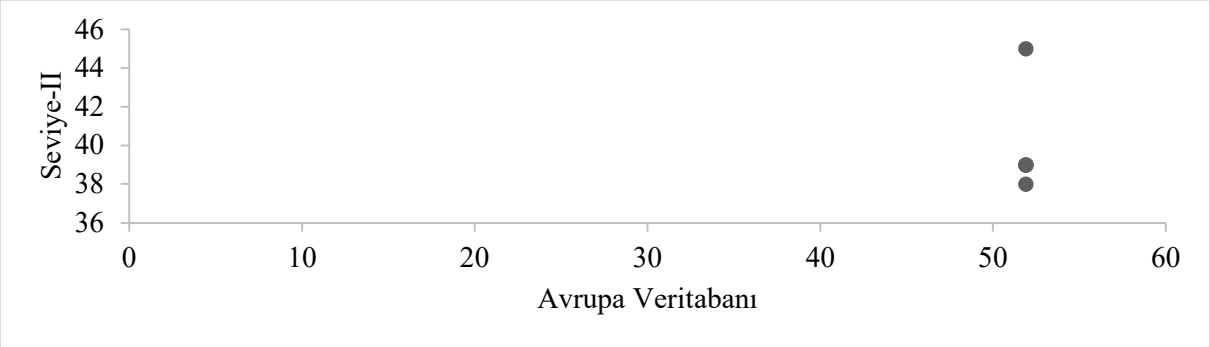
3.4.3.1.5. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Sonuçları

2014-2018 yılları arasında İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlık alanlara ait toprak karbonu miktarları ENVANIS'ten alınan veriler doğrultusunda hesaplanmıştır (Şekil 3.65).

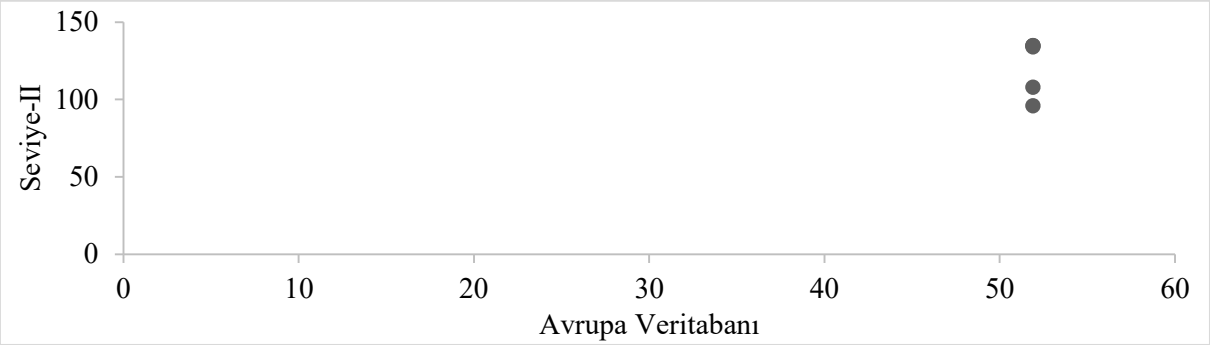


Şekil 3.65: İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi.

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü ölü örtü karbonu sonuçları incelendiğinde anlamlı bir ilişki saptanamamıştır (Şekil 3.66 ve Şekil 3.67).



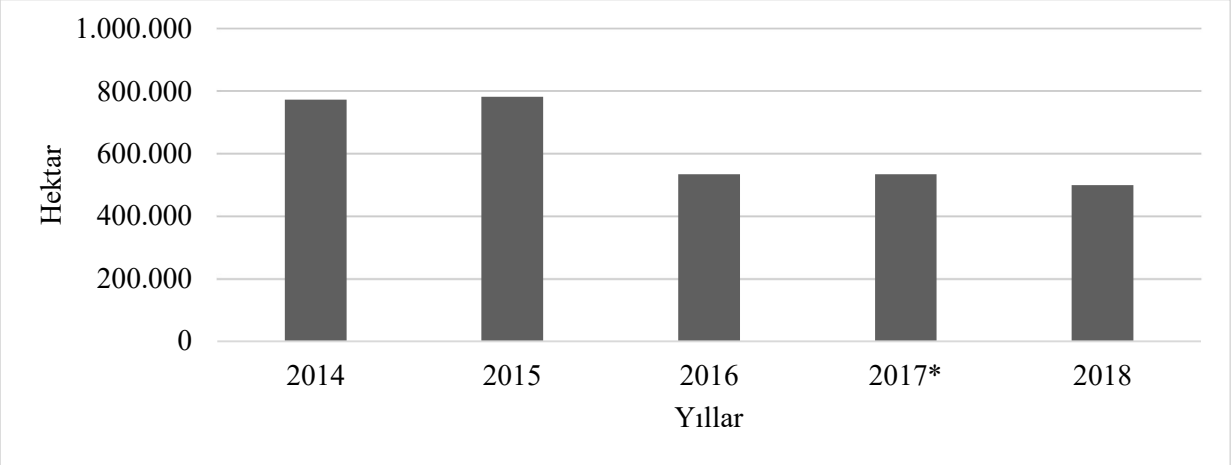
Şekil **3.66:** İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



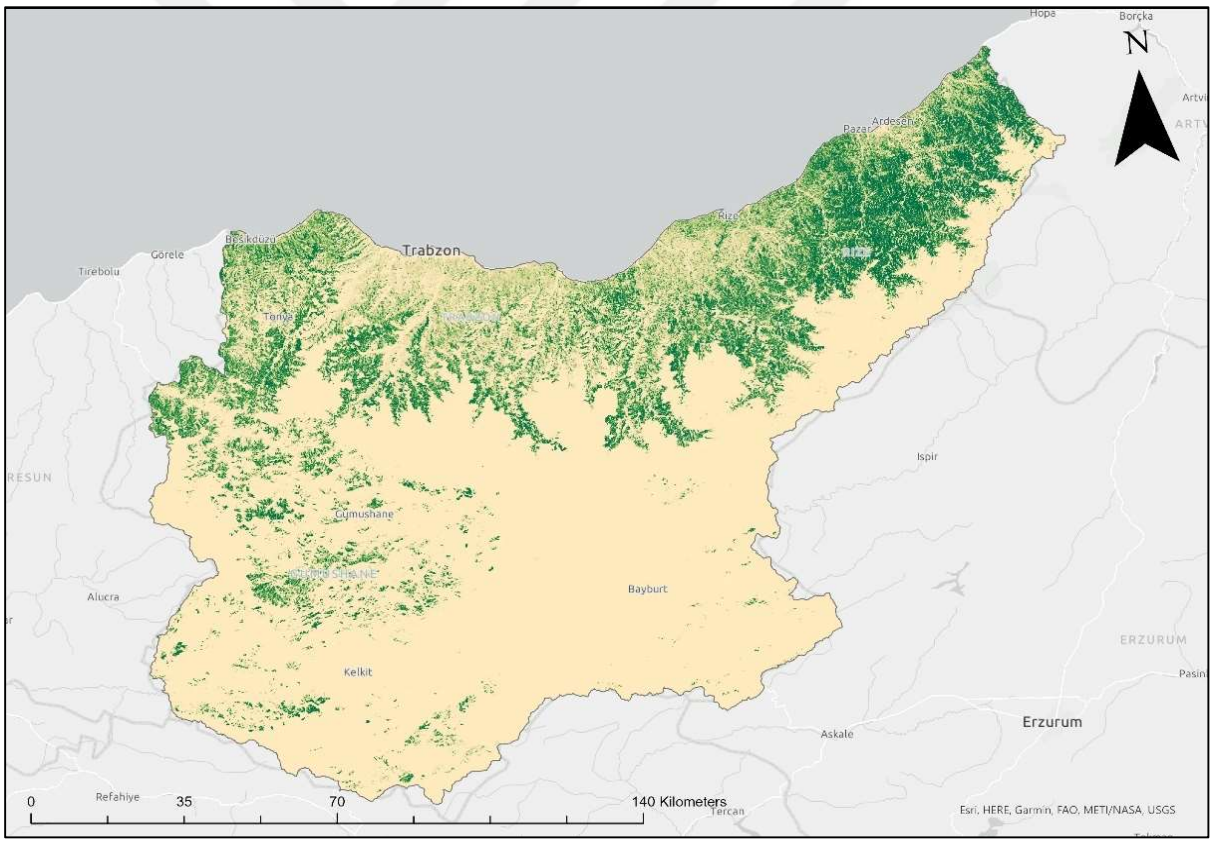
Şekil **3.67:** İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.4. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait orman alanlarının 2014-2018 yılları arasında değişimi gözükebilmektedir (Şekil 3.68). 2017 yılı yine diğer orman bölge müdürlükleri gibi 2016 yılından üretilmiş ve 1 yıllık artım önceki yıllara bağlı olarak hesaplananan (ENVANIS'te belirlenmiş) meşcere yıllık ortalama artımı doğrultusunda hesaplanmıştır (Tablo 3.12; Tablo 3.13; Tablo 3.14).



Şekil 3.68: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü yıllara göre toplam alan değişimi.



Şekil 3.69: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait ormanlık alanları gösterir harita (2015 Yılı).

Tablo 3.12: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Seviye-II Sonuçları (1 Hektara göre).

Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	34	33	36	37	43
Toprakaltı Biyokütle	8	8	8	9	10
Ölü Odun	1	1	1	1	1
Ölü Örtü	6	5	5	5	8
Toprak	55.05	55.05	55.05	55.05	55.05
Toplam	104	102	105	107	117

Tablo 3.13: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu AB-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	14	16	14	14	18
Toprakaltı Biyokütle	4	5	5	5	4
Ölü Odun	1	1	2	2	1
Ölü Örtü	2	2	2	2	2
Toprak	28	33	33	33	29
Toplam	49	57	56	56	54

Tablo 3.14: Trabzon Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Kanada-Veritabanı CBM-CFS3 Sonuçları (1 Hektara göre).

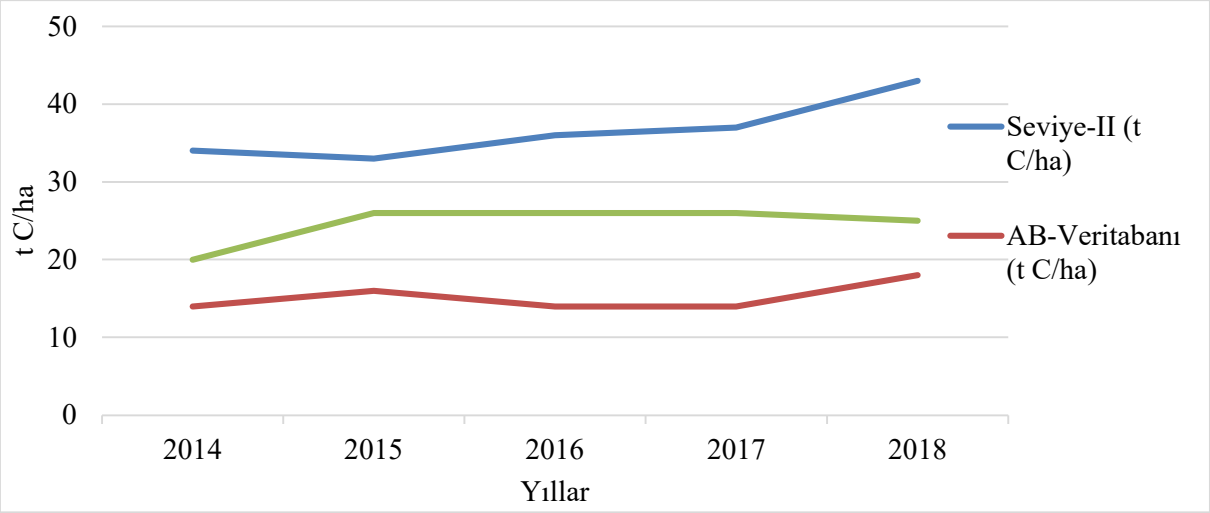
Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Topraküstü Biyokütle	20	26	26	26	25
Toprakaltı Biyokütle	5	7	8	8	5
Ölü Odun	3	6	6	5	5
Ölü Örtü	34	51	55	55	35
Toprak	77	113	117	117	86
Toplam	139	203	212	211	156

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü için yapılan CBM-CFS3 modellemesinde yıllık ortalama sıcaklık 11,5 °C olarak alınmıştır.

3.4.4.1. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Büyük Ölçek Araştırma Alanı Toprak Üstü ve Toprak Altı Karbonu, Ölü Odun, Ölü örtü ve Toprak Karbonu Sonuçları

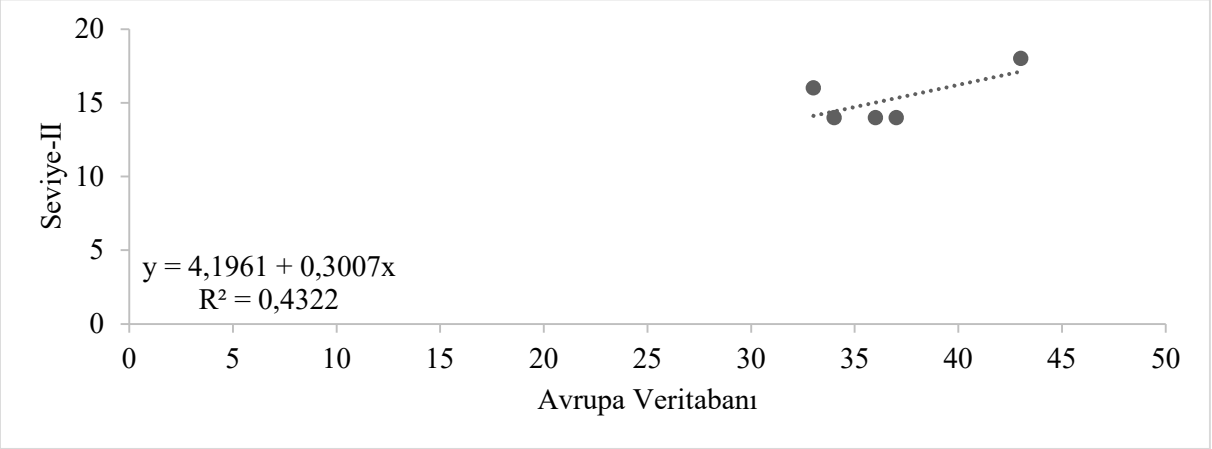
3.4.4.1.1. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait toprak üstü karbonu sonuçları verilmiştir (Şekil 3.70). Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir.

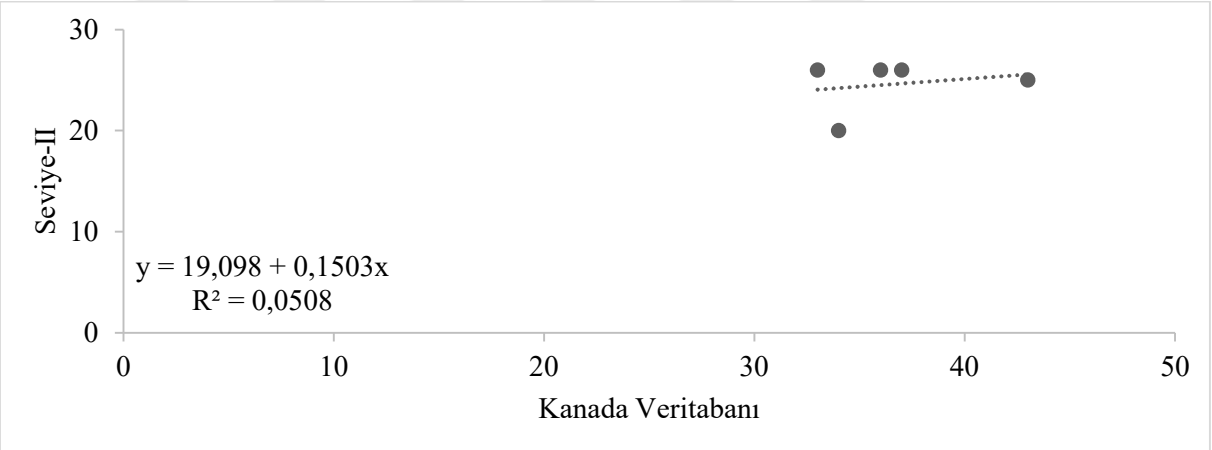


Şekil 3.70: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Üstü Karbonu yıllara göre değişimi.

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait toprak üstü biyokütle karbon havuzu sonuçları incelendiğinde Seviye-II sonuçlarına istatistiksel anlamda daha fazla uyum gösterenin Avrupa veri tabanı olduğu görülmektedir (Şekil 3.71 ve Şekil 3.72).



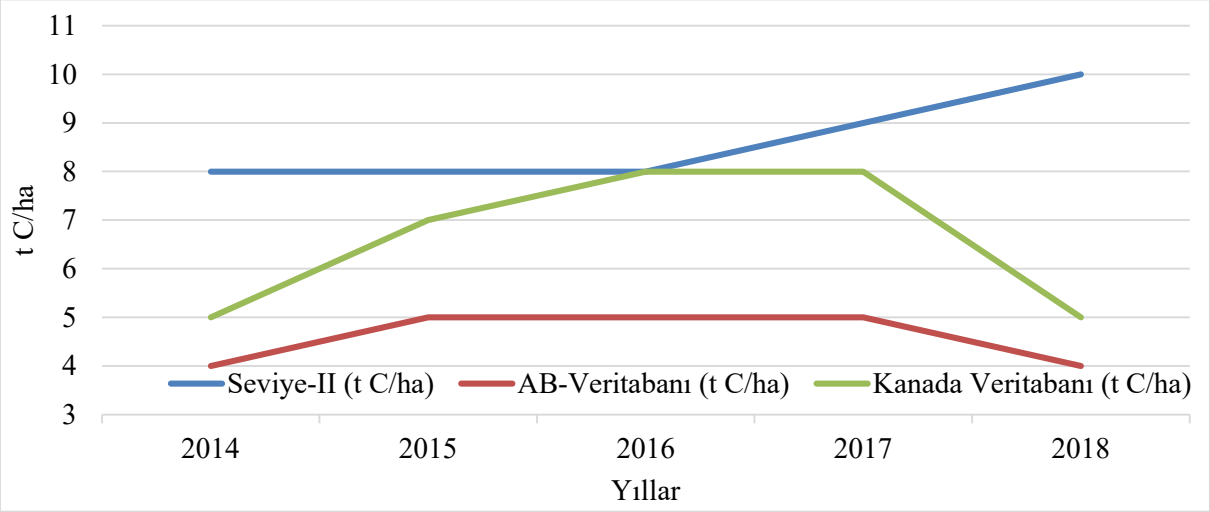
Şekil 3.71: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.72: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Üstü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

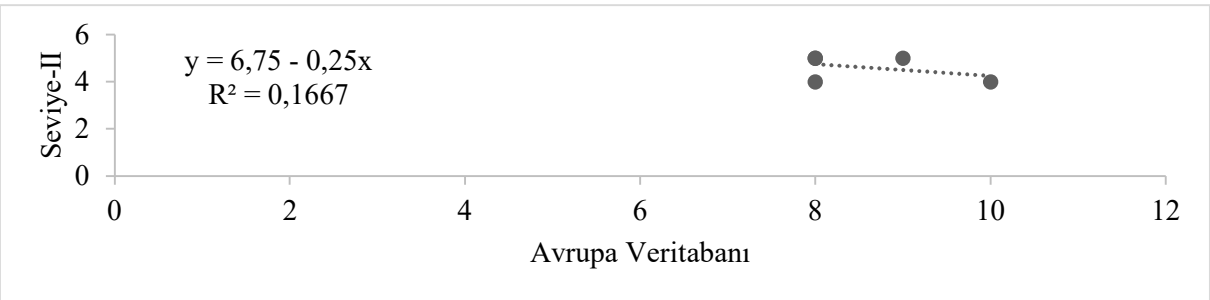
4.2.3.1.2. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü ormanlık alanları kapsamında ENVANİS'ten (Envanter-İstatistik Veritabanı) alınmış veriler doğrultusunda hesaplanan toprak altı karbonu değerleri yer almaktadır (Şekil 3.73). Bu değerler toprak üstü karbonunun 0,23 katsayısı ile çarpılarak raporlandığı için bu tez kapsamında da aynı yöntem ile hesaplanmıştır. 0,23 katsayısı kök-gövde oranından gelen bir katsayıdır.

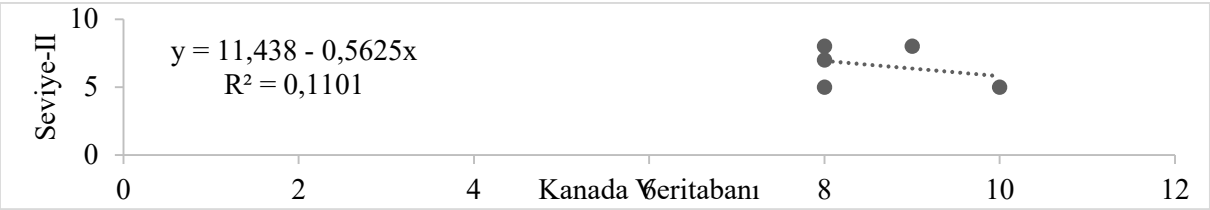


Şekil 3.73: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Altı Karbonu yıllara göre değişimi.

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait toprak altı biyokütle karbon havuzu sonuçları incelendiğinde Seviye-II sonuçlarına istatistiksel anlamda daha fazla uyum gösteren modellemenin toprak üstü biyokütle karbon havuzunun aksine CBM-CFS3 Avrupa veri tabanı olduğu görülmektedir (Şekil 3.74 ve Şekil 3.75).



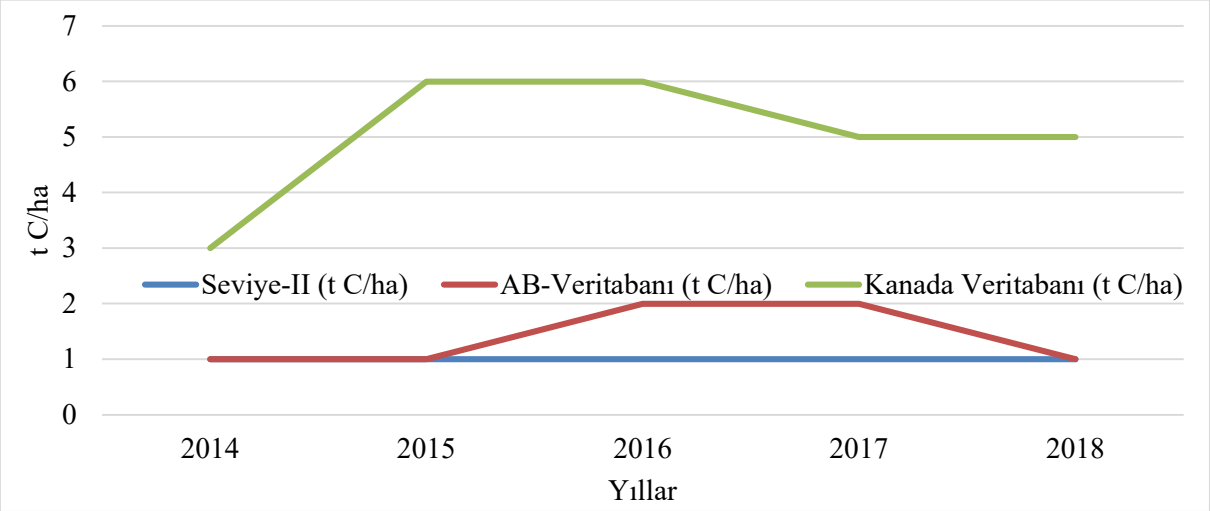
Şekil 3.74: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.75: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Altı Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

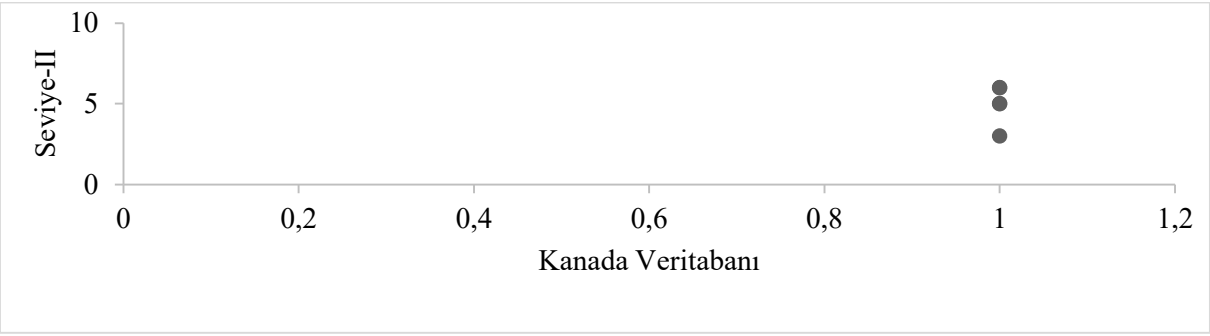
3.4.4.1.2. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Sonuçları

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü ormanlık alanları için 2014-2018 yılları arasında yapılan hesaplamalarda (Şekil 3.76) aynı diğer bölge müdürlükleri için yapılmış olan hesaplamalarda olduğu gibi ölü odun miktarı yaklaşık olarak toprak üstü karbon miktarının %1'i olarak kabul edilmiştir.

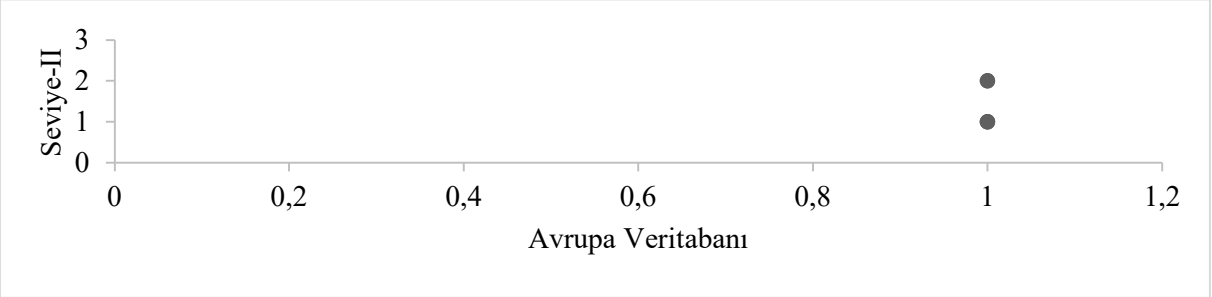


Şekil 3.76: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Odun Karbonu yıllara göre değişimi

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait ölü odun karbon havuzu sonuçları incelendiğinde Seviye-II sonuçlarına istatistiksel anlamda bir ilişki tespit edilmemiştir (Şekil 3.77 ve Şekil 3.78).



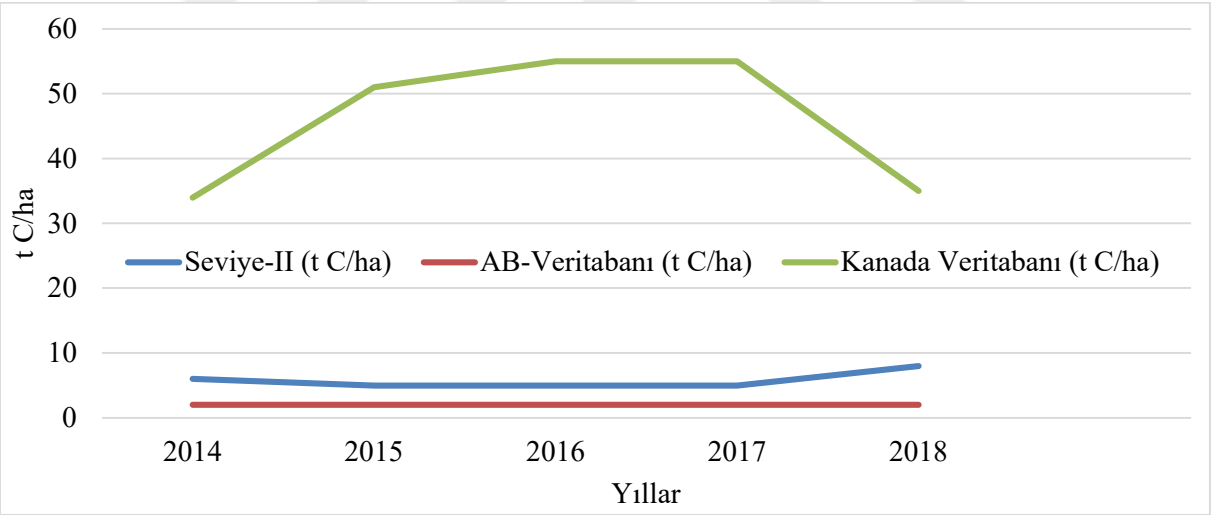
Şekil 3.77: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.78: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Odun Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

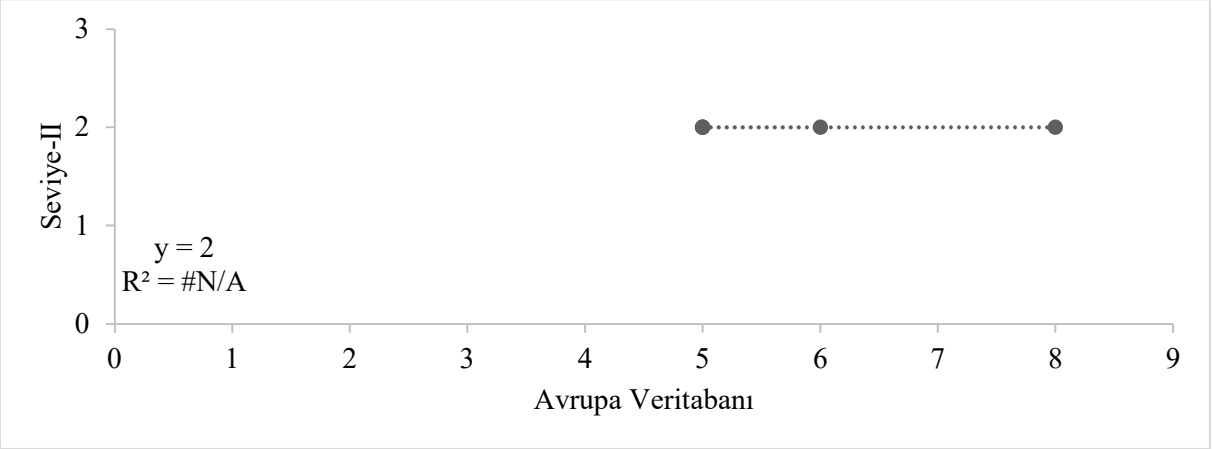
4.2.3.1.4. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Sonuçları

2014 ve 2018 yılları arasında Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki ormanlara ait ölü örtü karbonu sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar Seviye II ile IPCC (2006)'ye göre hesaplanmış ve veri tabanı olarak CBM-CFS3'e aktarılmıştır. CBM-CFS3 ile iki farklı (Kanada ve Avrupa) veri tabanında simüle edilmiştir. Aşağıdaki grafikte ise 2014-2018 yılları arasındaki zamansal seyir grafiği görülmektedir (Şekil 3.79).

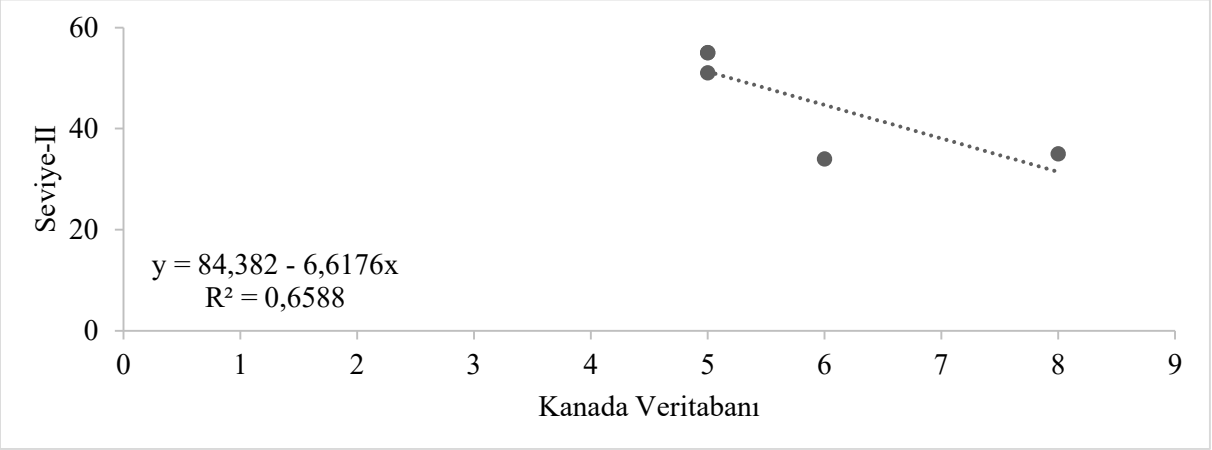


Şekil 3.79: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Ölü Örtü Karbonu yıllara göre değişimi.

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait ölü örtü karbon havuzu sonuçları incelendiğinde Seviye-II sonuçlarına istatistiksel anlamda daha fazla uyum gösteren modellemenin Kanada veri tabanı olduğu görülmektedir (Şekil 3.80 ve Şekil 3.81).



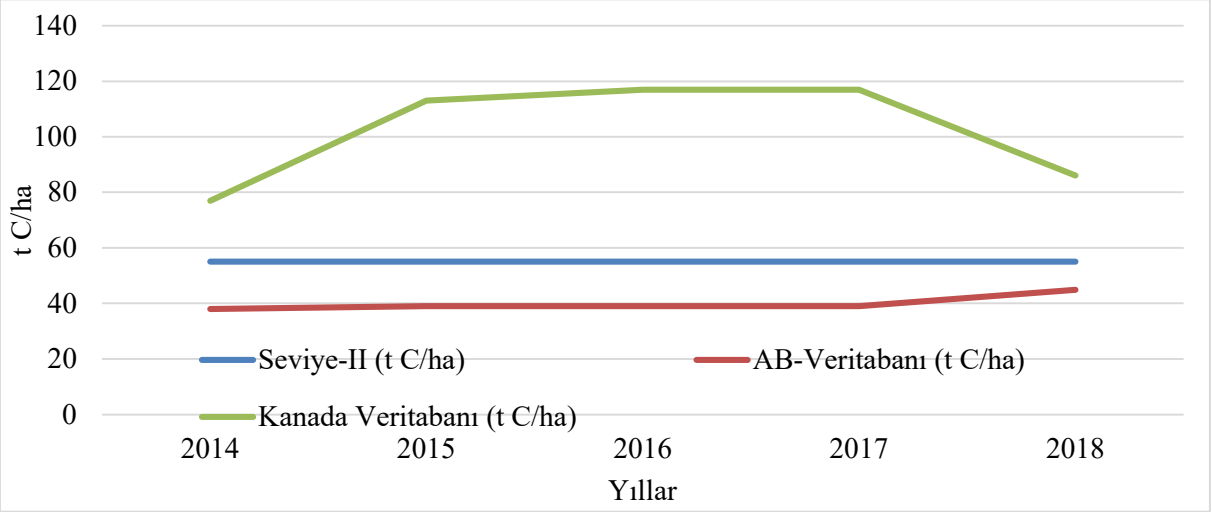
Şekil 3.80: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.81: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Ölü Örtü Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

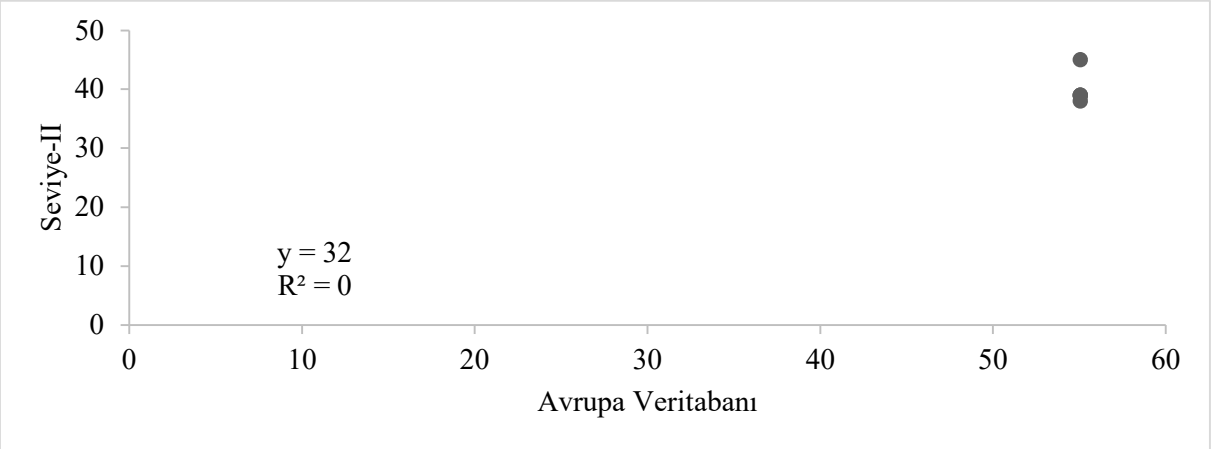
4.3.4.2.5. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Sonuçları

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü ormanlık alanları için 2014-2018 yılları arasında yapılan hesaplamalarda aynı diğer bölge müdürlükleri için yapılmış olan hesaplamalarda olduğu gibi toplam toprak karbonu miktarının zamansal değişimi yıl yıl gösterilmiştir (Şekil 3.82).

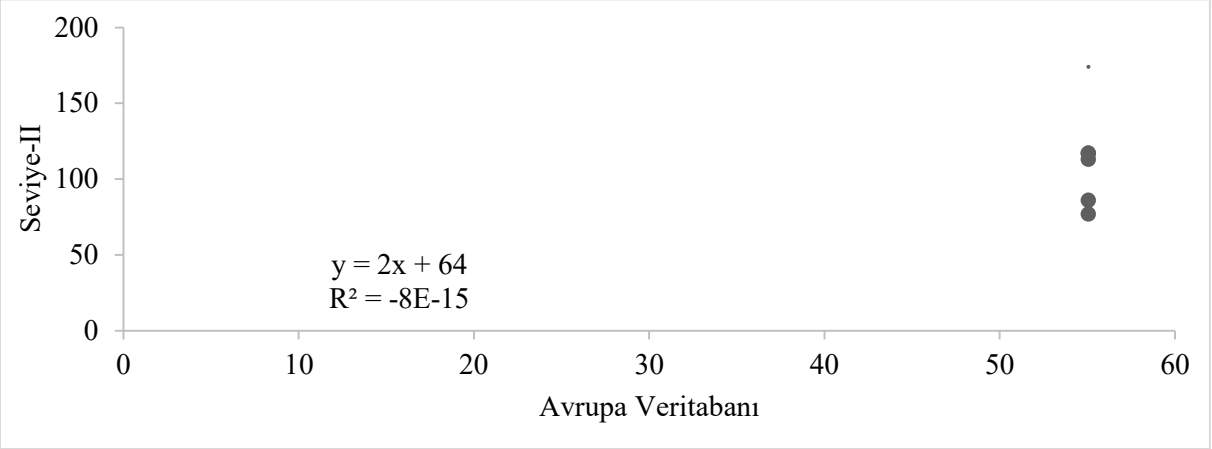


Şekil 3.82: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toplam Toprak Karbonu yıllara göre değişimi.

Trabzon Orman Bölge Müdürlüğüne ait toprak karbonu havuzu sonuçları incelendiğinde Seviye-II sonuçlarına istatistiksel anlamda daha fazla uyum gösteren modellemenin CBM-CFS3 Kanada veritabanı olduğu görülmektedir (Şekil 3.83 ve Şekil 3.84).



Şekil 3.83: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Avrupa veritabanı arasındaki ilişki.



Şekil 3.84: Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Toprak Karbonu Seviye II ve Kanada veritabanı arasındaki ilişki.

3.4.5. Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüklerinin Karbon Havuzları Bakımından İncelenmesi

Büyük ölçek çalışmaları için seçilmiş olan Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon orman bölge müdürlükleri Türkiye'nin farklı ekolojik ve klimatik koşullarını temsil eden birbirlerinden farklı farklı özellikler gösteren alanlara sahiplerdir. Yıllık ortalama sıcaklık, ortalama yıllık toplam yağış, vejetasyon periyodu uzunluğu, ağaç türlerinin çeşitliliği karşısında farklı yapılarda ormanlara sahip olan bu bölge müdürlükleri aynı zamanda şehirleşmenin, kırsal yaşamın, üretim istek ve beklentilerinin, ekolojik ve fonksiyonel koruma fonksiyonlarının uygulanması bakımından da farklı özelliklere sahiptir. Orman Bölge Müdürlüklerinin Seviye-II sonuçları da bu sebeple farklılık göstermektedir (Tablo 3.15)

Tablo 3.15: Orman Bölge Müdürlüklerinin Seviye-II sonuçlarını içeren tablo.

Topraküstü Biyokütle Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	17	17	25	26	24
Antalya	22	24	25	26	33
İstanbul	33	30	31	32	17
Trabzon	34	33	36	37	43
Toprakaltı Biyokütle Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	4	4	6	6	5
Antalya	5	5	6	6	8
İstanbul	8	7	7	7	4
Trabzon	8	8	8	9	10
Ölü Odun Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	1	1	1	1	1
Antalya	1	1	1	1	1
İstanbul	1	1	1	1	1
Trabzon	1	1	1	1	1
Ölü Örtü Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	7	6	8	8	7
Antalya	8	7	7	7	9
İstanbul	4	4	4	4	8
Trabzon	6	5	5	5	8
Toprak Karbonu Seviye-II (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	77	78	114	114	73
Antalya	76	77	71	71	90
İstanbul	80	80	80	80	76
Trabzon	77	78	79	79	76

Yukarıdaki tabloda (Tablo 3.15) anlaşılacağı üzere yıllık ortalama yağış miktarının diğer bölgelere göre daha fazla olduğu ve buna karşın yıllık ortalama sıcaklıkların nispeten daha düşük olduğu orman bölge müdürlüklerinde toprak üstü karbon havuzunun daha fazla olduğu görülmektedir. Bunu takiben hesaplanan toprak altı karbon havuzu da yine aynı şekilde bir tablo çizmektedir.

Ölü odun havuzu yakacak odun toplayıcılığının etkisinden ötürü önemli bir farka sahip değildir (Tablo 3.16).

Ölü örtü havuzunda ise genelde ibreli türlerin çok olduğu bölge müdürlüklerinde diğerlerine göre bir miktar daha yüksek olan değerler göze çarpmaktadır (Tablo 3.16).

Toprak karbonu havuzunda ise uygun ne ve sıcaklık koşulları ile ölü odun ve ölü örtü (ölü organik madde) havuzlarının hızlı ayrışması sonucu toprak karbonuna akış hızlanmaktadır ve toprakta buna karşılık bir birikim artışı gözlenmektedir (Tablo 3.16).

Seviye-II hesaplamalarıyla birlikte Avrupa veri tabanı ve Kanada veri tabanı için de bölge müdürlükleri bazında incelemeler yapılmış ve CBM-CFS3'nin modelleme yeteneği irdelenmiştir.

Tablo 3.16: Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Avrupa veritabanı sonuçlarını içeren tablo.

Topraküstü Biyokütle AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	8	11	11	12	12
Antalya	5	7	7	7	7
İstanbul	11	12	13	13	17
Trabzon	14	16	14	14	18
Toprakaltı Biyokütle AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	2	3	3	3	3
Antalya	3	4	4	4	4
İstanbul	5	5	5	5	7
Trabzon	4	5	5	5	4
Ölü Odun AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	1	1	1	1	1
Antalya	0	0	1	1	1
İstanbul	1	2	2	2	3
Trabzon	1	1	2	2	1
Ölü Örtü AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018

Tablo 3.16 (devam): Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Avrupa veritabanı sonuçlarını içeren tablo.

Ankara	1	1	1	1	1
Antalya	0	0	2	0	0
İstanbul	2	2	2	2	3
Trabzon	2	2	2	2	2
Toprak Karbonu AB-Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	19	23	23	23	22
Antalya	27	28	28	28	29
İstanbul	38	39	39	39	45
Trabzon	28	33	33	33	29

CBM-CFS3 modelleme aşamalarında kullanılan veri tabanları farklı yıllık ortalama sıcaklıklara farklı tepkiler vermektedir. Bununla birlikte ağaç türlerinin form katsayıları ve coğrafi alanların ayrışma ve karbon havuzları arası akış sürecine de doğrudan etki etmektedir. Bu kapsamda Seviye-II'yi takip eden ama değer bakımından daha düşük değerlere sahip bir tablo ile karşılaşmaktayız. Toprak üstü ve toprak altı biyokütle karbon havuzları yine aynı şekilde seyir göstermektedir. Buna karşılık ölü odun havuzu yapraklı türlerin olduğu bölge müdürlüklerinde daha yüksek bir değere sahiptir. Ölü örtü ise yine aynı şekilde yapraklı türlerin ağırlıkta olduğu bölge müdürlüklerinde daha fazla birikim göstermiştir. Toprak keza Seviye-II hesaplamalarında olduğu gibi istatistiksel anlamda uyum göstermektedir (Tablo 3.17). CBM-CFS3'nin kendisi ile birlikte gelen Kanada veri tabanı ile yapılan ölçümler de aşağıda tablo olarak verilmiştir (Tablo 3.17).

Tablo 3.17: Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Kanada veritabanı sonuçlarını içeren tablo.

Topraküstü Biyokütle Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	19	18	18	18	21
Antalya	19	22	22	22	22
İstanbul	23	25	25	26	25
Trabzon	20	26	26	26	25
Toprakaltı Biyokütle Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	5	5	5	5	5

Tablo 3.17 (devam): Orman Bölge Müdürlüklerinin CBM-CFS3 Kanada veritabanı sonuçlarını içeren tablo.

Antalya	4	6	5	5	5
İstanbul	5	8	8	8	5
Trabzon	5	7	8	8	5
Ölü Odun Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	2	3	3	3	3
Antalya	3	4	4	4	4
İstanbul	7	8	8	8	14
Trabzon	3	6	6	5	5
Ölü Örtü Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	17	22	22	21	17
Antalya	24	34	28	28	29
İstanbul	50	66	66	66	43
Trabzon	34	51	55	55	35
Toprak Karbonu Kanada Veritabanı (t C/ha)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	52	66	66	66	55
Antalya	57	79	67	67	69
İstanbul	108	134	135	135	96
Trabzon	77	113	117	117	86

Kanda veritabanı değerleri incelendiğinde rakamların Seviye-II'ye benzer olduğu ama istatistiksel anlamlılığının düşük olduğu görülmektedir (Tablo 3.17). Bununla birlikte en dikkat çekici değerler ölü örtü ve toprak karbonu havuzlarında elde edilmiştir.

3.4.6. Ankara, Antalya, İstanbul ve Trabzon Orman Bölge Müdürlüklerinde 2014-2018 Yılları Arasında Yıllık ETA (Odun Üretimi – Hasılat) İle Meydana gelen Kayıpların Zamansal Değişimi

Yıllık odun hammaddesi üretim miktarları doğrudan ENVANIS'ten alınmış olup rakamlar metreküp cinsindendir. Bu rakamlar CBM-CFS3 veri tabanına aktarıldıktan sonra elde edilen kanıtlar ton karbon cinsinden olmuştur. Ülkemize ait veriler yine diğer simülasyonlarda olduğu gibi hem Avrupa veri tabanı hem de Kanada veri tabanı ile hesaplanmıştır.

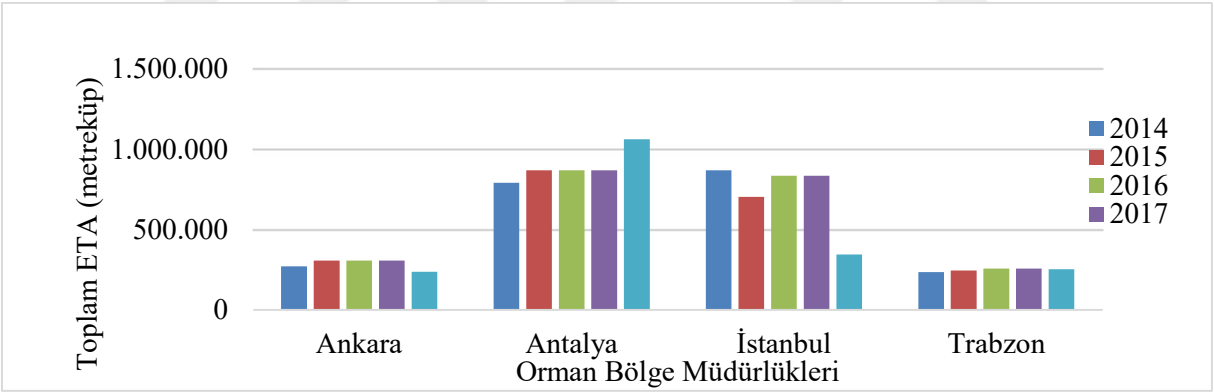
Hesaplamalar kapsamında;

- Orman Yangını,

- Böcek Zararı,
- Kaçak Kesim,
- Afet sonrası kesimler ve kayıplar ile
- Aralama kesimler ve bakım çalışmalarına dair kapsamlı veriler olmaması sebebi ile bu işlemlere yer verilmemiştir.

Dolayısıyla simülasyonlar kapsamında sadece yıllık ETA (ENVANIS altyapısında verilmesi sebebi ile) simülasyon süresince dört orman bölge müdürlüğü için de hesaplanmıştır.

Yıllık ETA ENVANİS üzerinde metreküp olarak verilmiştir (Şekil 3.85 ve Tablo 3.42) ancak CBM-CFS3 alan bazlı bir yazılım olması sebebi ile "O Yıla Ait Şeflik Alanı * O Yıla Ait Hasılat) / O Yıla Ait Toplam Dikili Hacim" olarak hesaplanmıştır. Bu hususta unutulmamalıdır ki kesilen ağaçların tamamı kayıp olarak gözükmemekte ve HWP olarak ayrıca hesaplanmaktadır. CBM-CFS3 ile hesaplanan değerler kesim sırasında ve sonrasında oluşan Avrupa ve Kanada bazlı süreçlerin kayıplarına ait katsayılar ile hesaplanmıştır (Şekil 3.86 ve Şekil 3.87 ile Tablo 3.18, Tablo 3.19, Tablo 3.20).



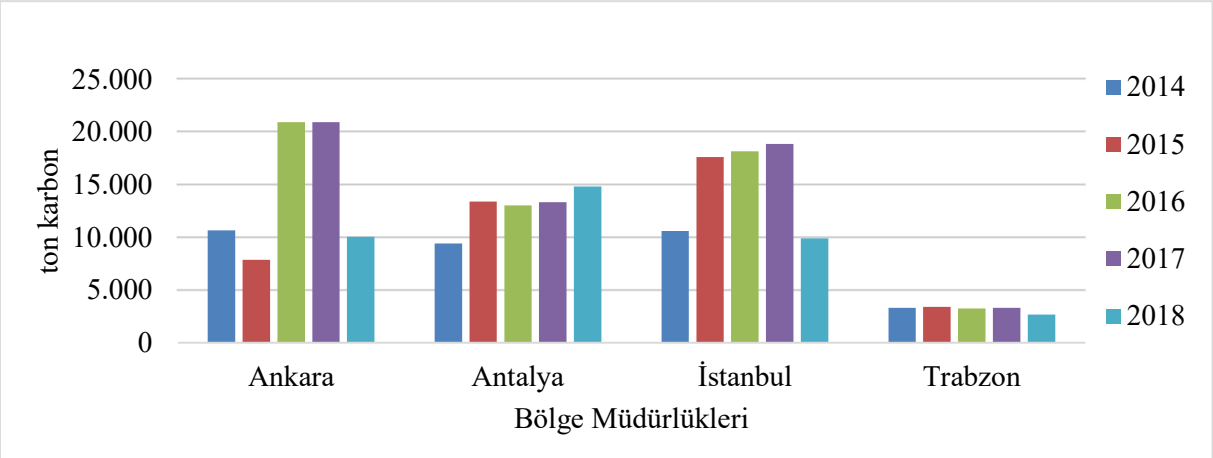
Şekil 3.85: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre yapılan hasılat miktarları.

Tablo 3.18: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre yapılan hasılat miktarları.

Yıllık ETA (m^3)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	270,425	305,848	305,848	305,848	235,342
Antalya	791,662	869,726	869,726	869,726	1,064,461
İstanbul	868,727	704,812	836,500	836,500	345,122
Trabzon	233,743	244,234	255,877	255,877	253,173

Tablo 3.19: Hasılattan kaynaklanan emisyonları gösteren sonuçlar (CBM-CFS3 Avrupa Veritabanı).

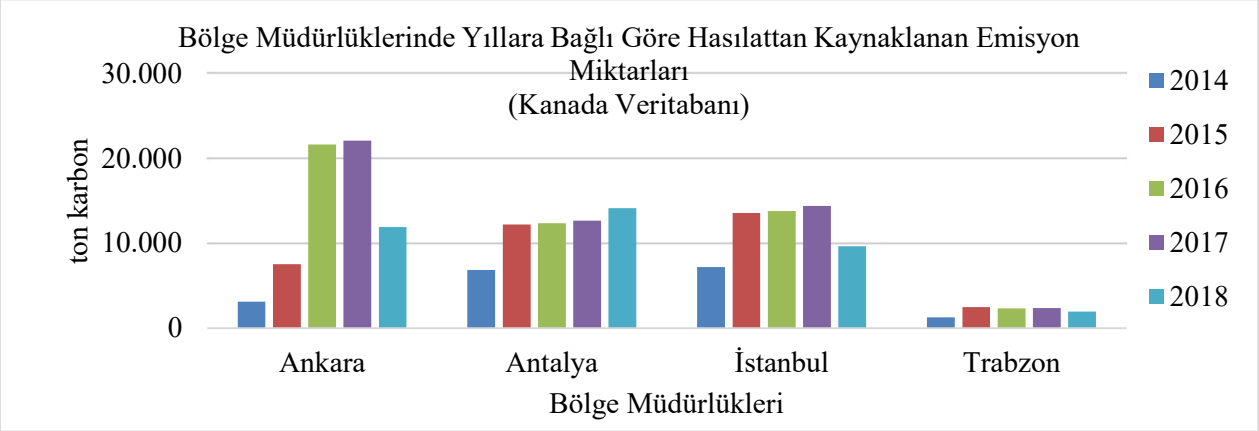
Hasılattan Kaynaklanan Salım Avrupa Veritabanı (ton C)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	10,665	7,866	20,954	20,954	10,065
Antalya	9,412	13,404	13,034	13,338	14,844
İstanbul	10,609	17,631	18,180	18,888	9,913
Trabzon	3,317	3,384	3,245	3,317	2,677



Şekil 3.86: Bölge Müdürlüklerinde yıllara göre hasılattan kaynaklanan emisyon miktarları (Avrupa Veritabanı).

Tablo 3.20: Hasılattan kaynaklanan emsiyonları gösteren sonuçlar (CBM-CFS3 Kanada Veritabanı).

Hasılattan Kaynaklanan Salım Kanada Veritabanı (ton C)	2014	2015	2016	2017	2018
Ankara	3,096	7,538	21,652	22,105	11,886
Antalya	6,851	12,200	12,354	12,667	14,134
İstanbul	7,174	13,564	13,806	14,400	9,621
Trabzon	1,239	2,461	2,296	2,359	1,938



Şekil 3.87: Bölge müdürlüklerinde yıllara göre hasılattan kaynaklanan emisyon miktarları (Kanada Veritabanı).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.2. TARTIŞMA

CBM-CFS3'nin IPCC (2006) metotlarına göre çalışan yapısında iki farklı veritabanı (ağaç türü ve dal-gövde-kök oranları, ölü odun ve ölü örtü birikimi katsayıları, karbon havuzları arası transfer hızları ve miktarları vb.) ile çalıştırılmıştır.

Toprak üstü karbon değerleri, ağaç türlerinin morfolojik farklılığı, ekolojik parametrelerin değişkenlik ve yetişme ortamının ağaçların büyümesi üzerine etkisi ve geleneksel orman yönetim metotlarının farklılık göstermesinden ötürü farklı sonuçlar göstermektedir.

Avrupa veri tabanı ekolojik parametreler ve özellikler bakımından örnekleme alanına daha yakın bir özellik göstermesinden ötürü doğrudan araziden toplanmış olan verilerle yapılmış olan Seviye-II hesaplarına özellikle ölü örtü, ölü odun ve toprak karbonu havuzlarında daha yüksek bir uyum göstermiştir.

Kanada veri tabanı her ne kadar miktar olarak özellikle toprak üstü karbonu bakımından Seviye-II hesaplamalarına yakın sonuçlar çıkartmış olsa da diğer karbon havuzlarında özellikle ölü örtü ve ölü odun konusunda yetersiz kalmaktadır.

Her iki veri tabanı için de her ne kadar Türkiye ekolojik koşullarına "olabildiğince" yakın bölgeler seçilmiş de olsa Türkiye koşullarını (ölü organik madde ayrışma hızı, ayrışma miktarı, karbon havuzları arası transfer miktarları, ağaçların büyüme modelleri, toprak karbonu miktarları, mikrobiyolojik faaliyetler vb.) tam olarak temsil edemeyeceği için "Seviye II" hesaplamalara göre farklılık göstermesi oldukça doğaldır.

Toplam orman ekosistemi karbonunda olan değişimler hektar bazındaki değerlere her zaman yansımayabilir, bu değişimler ormanlık alanın niteliğine göre değişmektedir. Orman bölge müdürlüklerinin alanlarında olan değişimlerin hektar bazındaki sonuçlara tam uyumlu olmamasının sebeplerinden bir tanesi de o yıl meydana gelen değişimin meydana geldiği ormanlık alanın yaşına, hakim ağaç türlerine ve yetişme ortamı kalitesine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Her ne kadar ENVANİS içerisinde orman yangınları ile kayıp verilmese de yine de ormanlardan kaynaklanacak olan sera gazı salımlarının birincil sebebi orman yangınları ve böcek zararlarıdır.

Böcek zararları organik maddenin ayrışması bakımından canlı biyokütlenin dölü odun ve toprak karbonu havuzlarına geçişine sebep olacaktır.

Ancak orman yangınları doğrudan sera gazı salımı anlamına geldiğinden en büyük etkiye sahiptir.

Bölge müdürlüklerine ait yıllık ortalama sıcaklık verileri bir bakımdan yangın sezonunda gerçekleşebilecek yangın riskini de ifade edebilir.

Yıllık ortalama sıcaklık, ortalama yıllık toplam yağış, ağaç türü bileşeni ve ormancılık faaliyetleri karbon havuzları için en temel bileşenlerden biridir.

Yıllık Ortalama Sıcaklık arttıkça ayrışma hızı artacağından ölü organik madde az miktarlarda olmakta ve buna karşılık toprak karbonu artışa geçmektedir. Buna karşılık yıllık ortalama sıcaklığı düşük olduğu alanlarda ise ayrışma hızı yavaş olacağından ölü organik madde havuzunda birikme meydana gelirken toprak karbonu havuzunda artış daha yavaş gözlemlenecektir.

Yılık ortalama sıcaklıkların artışı ormanlarda yangın riskini arttıracağından emisyon miktarlarını ve ormanların idari ömürlerini etkileyecektir.

Bir ormanda meydana gelen sık orman yangınları o alanda depolanan ölü örtü ve toprak karbonu miktarlarını düşürecektir.

Bonited, net birincil üretimi arttıran bir etki göstermiştir. Ek olarak yangın riski ve sıcaklık sabit tutulduğunda bonited kalitesinin artışı ormanlarda biriken ölü organik madde ve toprak karbonu havuzlarında birikmeye neden olmaktadır.

Hararuk ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada CBM-CFS3'yi farklı bölgelerde deneyerek parametre değişikliklerine verdiği tepkileri ölçtükleri çalışmalarında modelin farklı ekolojik koşullara adapte edilmesi ile ilgili tavsiyeler vermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ışığında CBM-CFS3'nin kendinde var olan Kanada veritabanı ılıman ve sıcak ekozonlarda orman karbon

havuzları akış dinamiği değiştiğinden ötürü toprak, ölü örtü ve ölü odun karbon havuzlarının olduğundan farklı sonuçlar ortaya koyabileceğini söylemiştir. Bu bakımdan çalışma tez kapsamında denenmiş olan iki farklı veritabanı ve Seviye-II hesaplamalarının sonuçları ile uyumluluk taşımaktadır. Sonuçlar incelendiğinde Kanada veritabanının ölü örtü ve ölü odun havuzlarının yüksek olduğu gözükmektedir. Bu yukarıda da bahsedildiği üzere yıllık ortalama sıcaklığın orman zemininde meydana gelen ayrışma sürecine etkisinden dolayı meydana gelmektedir. Avrupa birliği veritabanı sonuçları incelendiğinde dahi ortalama sıcaklığı diğerlerine göre daha yüksek olan Antalya Orman Bölge Müdürlüğünün sonuçları farklılık göstermektedir (Tablo 3.39; Tablo 3.40 ve Tablo 3.41).

Pilli ve arkadaşları (2018) yılında yayınladıkları çalışmalarında iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve mücadele etmek için bölgesel ölçekte desteklenmiş modellemelerin daha doğru sonuçlarının oluşturulacak strateji ve politikalar için daha isabetli sonuçlar ortaya koyacağından bahsetmiş ve Avrupa Birliği üye ülkeleri için geliştirdikleri ekozon bazlı veritabanını yayınlamışlardır. Bu kapsamda ağaç türleri ve bunlara ait büyüme modelleri, yıllık ortalama sıcaklıklar üzerinden yaptıkları değişiklikleri kullanıma sunmuşlardır. Çalışma kapsamında karbon havuzları arası akışın oranlarını değiştirmemişler fakat buna karşılık lokal ağaç büyüme modelleriyle desteklenmiş ve her bir ekolojik bölge için kullanılan ayrı katsayılar ile sonuçların ne denli etkilenebileceğini ortaya koymuşlardır. Nitekim tez kapsamında yapılan modelleme sonuçlarının toprak üstü ve toprak altı biyokütle değerleri ile toprak karbonu değerlerinin Kanada ve Avrupa Birliği veritabanlarına göre ne kadar değiştiği yukarıda gösterilmiştir.

Zamolodchikov ve arkadaşları (2008) ise yaptıkları simülasyonda Rusya için lokal veriler ile bir deneme yapmışlar ve çeşitli senaryolar ile zenginleştirmişlerdir. Ayrıca 2013'te yapmış oldukları ikinci bir çalışma ile Rusya Fedarasyo'nuna ait genel bir modelleme yaparak ormancılık faaliyetleri, orman zararları ve diğer etkileri ölçen bir projeksiyon yapmışlardır. Bu simülasyonda sahip oldukları ormanların tuttukları karbonun %21-29'unu endüstriyel faaliyetler dolayısı ile emisyonla kaybettiklerini söylemektedirler. Bu oran tez kapsamında belirlenmiş dört orman bölge müdürlüğü için ortalama %2-4 arasındadır.

Jevšenak ve arkadaşları (2020) Slovenya için yaptıkları çalışmada ülke geneli (2014 yılı) ormanlık alan toplam karbon stok değerini 190-200 milyon ton arası bir rakam bulmuşlardır. Yine o yılkı verilere göre Slovenya yaklaşık 1 milyon hektar ormanlık alana sahiptir ki bu rakam ormanlarında yaklaşık olarak 190-200 ton C/ha stok değerine denk gelmektedir. Tez

kapsamında yapılan modelleme sonucu ise elde edilen rakamlar ise; Seviye-II için 123 ton C/ha, Avrupa Veritabanı için 49 t C/ha ve Kanada Veritabanı için ise 160 t C/ha olarak elde edilmiştir. Aradaki fark Slovenya ormanlarının yaş sınıflarının ağırlıklı olarak 60-139 yaş aralığında olduğundan yüksek canlı biyokütle değerlerine sahip olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmelidir. Ayrıca ağaçlara ait büyüme modellerinin ekosistem toplam karbonunu ne kadar etkilediği bu kıyaslamadan da anlaşılabilmektedir.

CBM-CFS3'nin belki de en çarpıcı kullanımlarından birini de Olguin ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan ve Meksika için hızlı büyüyen türler, yüksek hasılat oranları ve orman zararları içi hazırlanmış olan simülasyonlar ile görmekteyiz. Çalışma kapsamında CBM-CFS3'nin hasılat ve orman zararlarına karşı sıcak ve farklı ağaç türlerine sahip bir bölgede denenmesi ve elde edilen sonuçları görmekteyiz. Model performansı uygulanan senaryoları uygulamakta yüksek bir başarı oranı yakalamış ve ileriye yönelik projeksiyonları ile de üretilebilecek politika ve stratejilere farklı bir bakış açısı sunmuştur. Kesimlerden kaynaklanan emisyon miktarları bu tez kapsamında yapılmış olan metot ile aynı yapıya sahiptir. Tek fark bu tez kapsamında hasat edilmiş orman ürünleri havuzu için sektörel hesaplama yapılmamış sadece kesim faaliyetinden kaynaklanan emisyonlara yer verilmiştir. Ancak CBM-CFS3 HWP isimli bir ek modül ile bu modellemeyi de bizlere sunabilmektedir. Yine aynı yöntemi izleyerek bu sefer Amerika Birleşik Devletleri'nde Dugan ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada CBM-CFS3'nin farklı ekolojik dinamiklerde olan tepkileri ölçülmüş ve uygulanabilirliği test edilmiştir.

5.3. SONUÇ

IPCC Guidelines (2006) uyarınca ormancılık sektörü için yapılan hesaplamaların Seviye II'den Seviye III'e geçebilmesi için belirli kriterler gerekmektedir. Bu kapsam da yapılacak çalışmalar sonucu üretilecek olan Seviye III hesaplamaları daha şeffaf, daha doğru, daha kolay takip edilebilir, modelleme için uygun geçmişe yönelik hesapların yapılabilmesi ve ileriye yönelik projeksiyonların yapılabilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Seviye III hesaplamalarının yapılabilmesi için bazı ulusal katsayılara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu katsayıların yapılacak çalışmalar sonucu gelecek yıllarda üretilmesi ülkemizin ormancılık sektöründeki sera gazı salım ve tutumlarının hesaplanması ve halihazırda yıllardan beri sürdürülen orman amenajman planları doğrultusunda ve orman zararları istatistiksel veri

tabanı ile birleştirilerek sürekli, üst düzey ve ulusal bir hesaplama sürecine geçişe olanak tanıyacaktır.

Yapılacak yeni araştırmalar vasıtasıyla Türkiye'ye ait veri havuzu genişledikçe ve ülke geneli güvenilirliği yüksek veri ve katsayılar üretildikçe hesaplamalar daha net ve tutarlı sonuçlar görülebilecektir.

Yapılacak yeni çalışmalarda daha ayrıntılı sonuçlar elde edilebilmesi için Türkiye'ye özgü ve Türkiye'nin sahip olduğu ekolojik alanlara bağlı olarak hazırlanmış olan ekozon sınırlarına (Serengil, 2018) bağlı olacak şekilde ve lokal ölçümler ile detaylandırılarak olabildiğince ayrıntılı;

- Ağaç büyüme modelleri (Yaş-Hacim İlişkisine göre)
- Daha ayrıntılı ölü örtü ve ölü odun havuzu katsayıları
- Daha ayrıntılı ve Türkiye geneline yayılmış toprak karbonu katsayıları oluşturulmalıdır.
- Oluşturulacak olan bu katsayıların ülkenin ekolojik çeşitliliğine bağlı olarak oluşturulması verilerin ayrıntısını arttıracaktır.

Üretilecek olan bu verilerin ülkeyi temsil kabiliyeti açısından tüm ekolojik bölümlerden toplanması ve ülkeye özgü endemik lokasyonlara ait veriler ile zenginleştirilmesi sonucu ayrıntılı, tutarlı, şeffaf ve her türlü multidisipliner çalışmaya uygun bir veritabanın oluşturulması sonucu ülkemizin iklim değişikliği ve küresel ısınmaya yönelik önleme, uyum sağlama ve iyileştirme politikalarında en önemli araçlarından biri olacaktır.

Ayrıca bu geliştirilmiş katsayılar ve veritabanı ile yapılacak çalışmalar IPCC'ce belirlenmiş olan "Seviye III" tipi en yüksek güvenilir hesaplamalara başlamak için hayati önem taşımaktadır.

Diğer Avrupa ülkeleri için yapılmış CBM-CFS3 hesaplamaları incelendiğinde görülebileceği üzere ülkemiz "asli ağaç türleri" için ekozon bazında büyüme modellerine olan ihtiyacımız ormanlarımızdaki karbon stoklarını daha iyi hesaplayabilmemiz açısından en öncelikli ihtiyaçlarımızdan biridir.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda ülkemiz ulusal orman envanterinin IPCC güncel hesaplamalarına göre Seviye III modelleme yapabilme yeteneğinde olan bir yazılıma aktarılması ve yazılım içerisinde ki değişkenlerin ülkemizle uyumlu hale getirilmesi en zorlayıcı kısım olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında ayrıntılı bir ulusal orman envanterine sahip olmamızın gelecek yıllarda yapılacak modelleme çalışmaları amacıyla yapılacak çalışmalarda temsil kabiliyeti yüksek sonuçlar elde edilebilmesine katkı sağlayacaktır. Ancak unutulmamalıdır ki modelleme süreci uzun ve konusunda uzman olan kişiler tarafından yürütülerek tamamlanması gereken bir süreçtir.

Tartışma kısmında verilen çalışmalar ve kıyaslamalar ışığında CBM-CFS3'nin sağlam ve kesintisiz bir veri seti ile birlikte lokal bir veritabanı oluşturularak çalıştırılması sonucunda güçlü, tutarlı ve şeffaf bir modelleme imkanı sunacağı açıktır. Farklı senaryolarda, farklı ekolojik koşullarda kullanılabilirliğini kanıtlamış bir yazılım olarak ormancılık sektöründe sera gazı salım ve tutumları için modelleme yazılımları artık önemli bir konuma gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar ve bu araştırma yoluyla oluşturulan CBM-CFS3 girdileri, uygun ve sürekli Türkiye Ulusal Orman Envanteri hazır olduğunda herhangi bir karbon stok hesaplaması yapan yazılımın nasıl daha doğru bir şekilde kullanılabileceğine dair güzel bir örnek oluşturmakta ve bu konuda tavsiyeler sunmaktadır.

Mevcut olarak kullanılabilecek iki adet veri tabanı içeren CBM_CFS3 modelinin Türkiye şartlarına daha iyi adapte edilebilir olması için mümkün olduğunca küçük ölçeklerde detaylı alışmalar yardımında geliştirilecek katsayılar doğrultusunda hesaplanması gerekmektedir. Ülkemiz ekolojik çeşitlilik ve orman yapısı bakımından küçük alanlarda fazlaca değişiklik gösterebilen bir yapıya sahiptir, dolayısı ile yapılacak hesaplamalar sırasında bu yapının daha iyi yansıtılabilmesi için belirtildiği üzere detaylı çalışmalara ve bu çalışmalardan üretilmiş katsayılara ihtiyaç duyulmaktadır. Tez kapsamında incelenen dört orman bölge müdürlüğü verilerine dayanarak ölü örtü ve ölü odun karbon havuzlarında yakın sonuçların elde edilmesine karşılık toprak üstü karbonu ve toprak organik karbonunun detaylandırılması önem taşımaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'de ormancılık sektörü kapsamında CBM-CFS3 kullanımının ilk sonuçlarını göstermektedir. Bu araştırmanın sonuçları, araştırmanın sera gazı emisyonlarını ve azaltımlarını tahmin etmesine ve gelecekte orman sektörü için ulusal orman sera gazı envanter raporlarını hazırlamak için düşünülebilecek yöntemleri göstermesine olanak sağlayacaktır.

Tez kapsamında sınanmış olan CBM-CFS3, farklı peyzaj ölçeklerinde hesaplamaları yapmamıza imkan tanıyan sera gazı hesaplama yazılımları daha tutarlı, daha verimli ve amacımıza hizmet eden uyguların seçilmesi, geleceğe yönelik projeksiyonların yapılarak mevcut politika, hedef ve amaçların güncellenmesi hatta yeniden düzenlenmesine imkan sunma konusunda belirtildiği üzere noksanlıkları olmasının karşılığında yine de yeterlilik gösterebilecektir. Plan ünitesinden başlayarak bölgesel ve ulusal ölçekte hazırlanabilecek iklim değişikliğine uyun ve azaltma stratejilerinin amaçlar doğrultusunda uygun bir şekilde oluşturulabilmesi amacıyla ekosistemlerdeki karbon miktarının bilinmesi ve ele alınan ölçeğe ait zamansal değişimlerin ortaya konulabilmesi oldukça önemlidir. Bu sebeple planlama ve proje geliştirme aşamalarında da yazılım oldukça kullanışlı bir yere sahip olma potansiyeline sahiptir. Bu noktada ormancılık sektörü içerisinden birçok alt branşın ihtiyaç duyduğu ve kullanabileceği bir konuma sahip olmakla birlikte ormancılık sektörü ile ilişkili diğer meslek grupları ve branşlarla da multidisipliner bir yaklaşımla ortak çalışmaya yöneltebilecek bir potansiyele sahiptir.

Sonuç olarak sistematik ve ayrıntılı bir veri toplama süreci sonucunda ülkenin mevcut orman envanterinin ve orman amenajman planlarının birleştirilmesi ile tüm ormancılık faaliyetlerinin takibi ve ileriye yönelik planlanması da kolaylaşacak ormancılık sektöründen yararlanan taraflara ve sektörlere de daha iyi bir planlama ve hareket imkanı kazandıracaktır.

KAYNAKLAR

Aalde, H., Gonsalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W.A., Lasco, R.D., ve diğ., 2006, *Forest Land*. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 4 (2), 4.1-4.83.

Arora, V. K., Peng, Y., Kurz, W. A., Fyfe, J. C., Hawkins, B., & Werner, A. T., 2016, Potential near-future carbon uptake overcomes losses from a large insect outbreak in British Columbia, Canada*, Geophysical Research Letters*, 43(6), 2590–2598.

Atıcı, E., 2006, Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky.) İnce çaplı gövde hacim tablosu, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56 (1), 89-108.

Özdemir, G. A. ve Saraçoğlu, M., 2016, Trakya meşe ormanlarında artım ve büyüme ilişkileri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(1), 0.

Baccini, A., Goetz, S., Walker, W. ve diğ., 2012, Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps, *Nature Climate Change*, 2, 182–185.

Bellassen, V. and Luyssaert, S., 2014, Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times, *Nature*, 506(7487), 153–155.

Berndes, G., Goldmann, M., Johnsson, F., Lindroth, A., Wijkman, A., Abt, B., Bergh,J., Cowie, A., Kalliokoski, T., Kurz, W., Luyssaert, S., Nabuurs, G-J., 2018, Manage for maximum wood production or leave the forest as a carbon sink?, *Environmental Science*, KSLA, Stockholm.

Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L., 2017, Forest and Natural Resource Sustainability, *Forest Management and Planning*, 201–214.

Birdsey, R., Alig, R., Adams, D., 2000, Chapter 8: Mitigation Activities in the Forest Sector to Reduce Emissions and Enhance Sinks of Greenhouse Gases. In: L. A. Joyce, R. Birdsey and (eds.), eds. The impact of climate change on America's forests: a technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment, Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service.

Bouyer, O., Serengil, Y., 2016, Carbon stored in harvested wood products in Turkey and projections for 2020, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66 (1), 295-302.

Brown, S., 2002, Measuring carbon in forests: current status and future challenges, *Environmental Pollution*, 116(3), 363–372.

Case, M. J., Johnson, B. G., Bartowitz, K. J., & Hudiburg, T. W., 2021, Forests of the future: Climate change impacts and implications for carbon storage in the Pacific Northwest, USA, *Forest Ecology and Management*, 482.

D'Amato, A. W., Bradford, J. B., Fraver, S., & Palik, B. J., 2011, Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments, *Forest Ecology and Management*, 262(5), 803–816.

Deb, D., Deb, S., Debbarma, P., & Banik, B., 2020, Impact of disturbance on vegetation, biomass and carbon stock in tropical forests of Tripura, Northeast India, *Vegetos*, 33(1), 187–193.

Dugan, A. J., Birdsey, R., Mascorro, V. S., Magnan, M., Smyth, C. E., Olguin, M., & Kurz, W. A., 2018, A systems approach to assess climate change mitigation options in landscapes of the United States forest sector, *Carbon Balance and Management*, 13(1), 0.

Dugan, A. J., Birdsey, R., Mascorro, V. S., Magnan, M., Smyth, C. E., Olguin, M., & Kurz, W. A., 2018, A systems approach to assess climate change mitigation options in landscapes of the United States forest sector, *Carbon Balance and Management*, 13(1), 0.

Elheddad, M., Benjasak, C., Deljavan, R., Alharthi, M., & Almabrok, J. M., 2021, The effect of the Fourth Industrial Revolution on the environment: The relationship between electronic finance and pollution in OECD countries, *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120-485.

FAO, 2005, Technical considerations for Forest Reference Emission Level and/or Forest Reference Level construction for REDD+ under the UNFCCC, *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*, Rome.

FAO, 2020, Global Forest Resources Assessment 2020: Country Reports: Turkey, Rome.

Fargione, J.F., S. Bassett, T. Boucher, S.D. Bridgham, R.T. Conant, S.C. Cook-Patton, P.W. Ellis, ve diğ., 2018, Natural climate solutions for the United States, *Science Advances*, (4), 0.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995, Our Land Our Future. *FAO*.

Girardin, M. P., Hogg, E. H., Bernier, P. Y., Kurz, W. A., Guo, X. J., & Cyr, G., 2015, Negative impacts of high temperatures on growth of black spruce forests intensify with the anticipated climate warming, *Global Change Biology*, 22(2), 627–643.

Gottschalk, Kurt W., 1995, Using silviculture to improve health in northeastern conifer and eastern hardwood forests. In: L. G. Eskew, comp. Forest health through silviculture: proceedings of the 1995 National Silviculture Workshop, Mescalero, New Mexico, May 8-11, 1995. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-267. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 219-226.

Hararuk, O., Shaw, C., & Kurz, W. A., 2017, Constraining the organic matter decay parameters in the CBM-CFS3 using Canadian National Forest Inventory data and a Bayesian inversion technique, *Ecological Modelling*, 364, 1–12.

Harris, N. L., Brown, S., Hagen, S. C., Saatchi, S. S., Petrova, S., Salas, W., Hansen, M. C., Potapov, P. V., & Lotsch, A., 2012, Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions, *Science*, 336(6088), 1573–1576.

Head, M., Bernier, P., Levasseur, A., Beauregard, R., & Margni, M., 2019, Forestry carbon budget models to improve biogenic carbon accounting in life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production*, 213, 289–299.

Heimann, M. and Reichstein, M., 2008, Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks, *Nature*, 451(7176), 289–292.

Hendrickson, O.Q., Robinson, J.B., Chatarpaul, L., 1982, The microbiology of forest soils. A literature review, *Canadian Forestry Service*, PI-X-19, 75.

Hereş, A.-M., Petritan, I. C., Bigler, C., Curtu, A. L., Petrea, Ş., Petritan, A. M., Polanco-Martínez, J. M., Rigling, A., & Curiel Yuste, J., 2021, Legacies of past forest management determine current responses to severe drought events of conifer species in the Romanian Carpathians, *Science of The Total Environment*, 751, 141-851.

Houghton, R. A., Hall, F., & Goetz, S. J., 2009, Importance of biomass in the global carbon cycle, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(G2), 0.

Hyvönen, R., Ågren, G. I., Linder, S., Persson, T., Cotrufo, M. F., Ekblad, A., Freeman, M., Grelle, A., Janssens, I. A., Jarvis, P. G., Kellomäki, S., Lindroth, A., Loustau, D., Lundmark, T., Norby, R. J., Oren, R., Pilegaard, K., Ryan, M. G., Sigurdsson, B. D., Wallin, G., 2007, The likely impact of elevated [CO2], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review, *New Phytologist*, 173(3), 463–480.

IPCC, 2005, Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds*.) Cambridge University Press*, UK, pp 431.

IPCC, 2006, IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, *National Greenhouse Gas Inventories Programme*, IGES, Japan.

IPCC, 2007, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], *IPCC*, Geneva, Switzerland, 104.

Janowiak, M., Swanston, C., Ontl, T., 2017, Management of Forest Carbon Stocks. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service*, Climate Change Resource Center.

Kim, M., Lee, W.K., Kurz, W.A., Kwak, D.A., Morken, S., Smyth, C.E., Ryu, D., 2016, Estimating carbon dynamics in forest carbon pools under IPCC standards in South Korea using CBM-CFS3, *iForest*, 10(0), 83-92.

Kull, S.J., Morken, S., Smyth, C.E., Fellows, M., 2017, *Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3): Archive Index Database table and parameter descriptions*, Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB.

Kull, S.J., Rampley, G., Morken, S., Metsaranta, J., Neilson, E.T., Kurz, W.A., 2016, *Operational-scale Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3) version 1.2: user's guide*, Natural Resouces Canada, Canadian Forest Service, North. For. Cent., Edmonton, AB.

Kurz W.A., Smyth, C.E., Lemprière, T.C., 2016, Climate change mitigation through forest sector activities: principles, potential and priorities, *Unasylva*, 246(67–1), 61–67.

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., & Apps, M. J., 2009, CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards, *Ecological Modelling*, 220(4), 480–504.

Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998, *Review of European Community & International Environmental Law*, 7(2), 214–217.

Lin, J. C., Chiu, C. M., Lin, Y. J., & Liu, W. Y., 2018, Thinning Effects on Biomass and Carbon Stock for Young Taiwania Plantations, *Scientific Reports*, 8(1), 0.

Liski, J., Pussinen, A., Pingoud, K., Mäkipää, R., Karjalainen, T., 2001, Which rotation length is favourable to carbon sequestration?, *Canadian Journal of Forest Research*, 31(11), 2004–2013.

Mackey, B. G., Prentice, I. C., Steffen, W., House, J. I., Lindenmayer, D. B., Keith, H., Berry, S., 2013, Untangling the confusion around land carbon science and climate change mitigation policy, *Nature Climate Change*, 3, 552–557.

Mardani, A., Streimikiene, D., Cavallaro, F., Loganathan, N., Khoshnoudi, M., 2019, Carbon dioxide (CO2) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017*, Science of The Total Environment*, 649, 31–49.

Matthews, R.W., Broadmeadow, M.S.J., 2003, Survey Methods for Kyoto Protocol Monitoring and Verification of UK Forest Carbon Stocks, UK Emissions by Sources and Removals by Sinks due to Land Use, Land Use Change and Forestry Activities, Report, April 2003. DEFRA, London.

McKinley, D. C., Ryan, M. G., Birdsey, R. A., Giardina, C. P., Harmon, M. E., Heath, L. S., Houghton, R. A., Jackson, R. B., Morrison, J. F., Murray, B. C., Pataki, D. E., & Skog, K. E., 2011, A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States, *Ecological Applications*, 21(6), 1902–1924.

Metsaranta, J. M., 2019, Long-term tree-ring derived carbon dynamics of an experimental plantation in relation to species and density in Northwestern Ontario, *Canada. Forest Ecology and Management*, 441, 229–241.

Miquelajauregui, Y., Cumming, S. G., & Gauthier, S., 2019, Short-term responses of boreal carbon stocks to climate change: A simulation study of black spruce forests, *Ecological Modelling*, 409, 108-754.

Morris, S., 1976, Energy and the Environment Cost-Benefit Analysis, *Environmental Effect of Fossil Fuels*, 0, 318–329.

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.

Olguin, M., Wayson, C., Fellows, M., Birdsey, R., Smyth, C.E., Magnan, M., Dugan, A.J., Mascorro, V.S., Alanis, A., Serran, 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, 035003.

Özhan, S., Gökbulak, F., Serengil, Y., Özcan, M., 2010. Evapotranspiration from a mixed deciduous forest ecosystem, *Water Resources Management*, 24, 2353–2363.

Özkan, U., & Gökbulak, F., 2017, Effect of vegetation change from forest to herbaceous vegetation cover on soil moisture and temperature regimes and soil water chemistry. *CATENA*, 149, 158–166.

Özyuvacı, N., 1999, Meteoroloji ve Klimatoloji, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 369.

Perez-Garcia, J., Lippke, B., Comnick, J., Manriquez, C., 2005, An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results Wood Fiber Sci., 37 (2005), pp. 140-148.

Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W. A., Smyth, C. E., & Blujdea, V., 2013, Application of the CBM-CFS3 model to estimate Italy's forest carbon budget, 1995–2020, *Ecological Modelling*, 266, 144–171.

Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W.A., ve diğ, 2016, Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances, I. Comparison with countries' estimates for forest management, *Carbon Balance Management*, 11, 5.

Pilli, R., Kull, S.J., Blujdea, V., ve diğ., 2018, The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3): customization of the Archive Index Database for European Union countries, *Annals of Forest Science*, 75, 71.

Pilli. R., Kull, S., Blujdea, V., Grassi, G., 2017, The EU Archive Index Database customised for the Carbon Budget Model (CBM-CFS3), *European Commission, Joint Research Centre (JRC)*, [dataset].

Ryan, M.G., Harmon, M.E., Birdsey, R.A., Giardina, C.P., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jackson, R.B., McKinley, D.C., Morrison, J.F., Murray, B.C., 2010, A synthesis of the science on forests and carbon for US forest, *Ecological Society of America*, 13, 0.

Saleska, S. R., 2003, Carbon in Amazon Forests: Unexpected Seasonal Fluxes and Disturbance-Induced Losses, *Science*, 302(5650), 1554–1557.

Salonius, P. O., 1983, Effects of organic-mineral soil mixtures and increasing temperature on the respiration of coniferous raw humus material, *Canadian Journal of Forest Ressearch*, 13 (1983), 102-107.

Schaedel, M. S., Larson, A. J., Affleck, D. L., Belote, R. T., Goodburn, J. M., & Page-Dumroese, D. S., 2017, Early forest thinning changes aboveground carbon distribution among pools, but not total amount, *Forest Ecology and Management*, 389, 187–198.

Schulze, E. D., Bouriaud, O., Weber, U., Roscher, C., Hessenmöller, D., 2018, Management beaks the natural productivity-biodiversity relationship in forests and grassland: an opinion, *Forest Ecosyst*, 5(3), 0.

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M. M., Vacchiano, G., Wild, J. ve diğ., 2017, Forest disturbance under climate change, *Nature Climate Change*, 7(0), 395–402.

Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., Balta, İ., 2008, *Türkiye İklimi, MGM,* http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/turkiye_iklimi.pdf, [Ziyaret tarihi: 5 Ocak 2019].

Serengil, Y., Gökbulak, F., Özhan, S., Hızal, A., Şengönül, K., Nihat Balcı, A., Özyuvacı, N., 2007, Hydrological impacts of a slight thinning treatment in a deciduous forest ecosystem in Turkey, *Journal of Hydrology*, 333(2–4), 569–577.

Serengil, Y., 2018, İklim Değişikliği ve Karbon Yönetimi (2018). UNDP.

Smith, D.M., Larson, B.C., Kelty, M.J., Ashton, P.M.S., 1997, The Practice of Silviculture, *Applied Forest Ecology*, 9(0), 0.

Smyth, C. E., Smiley, B. P., Magnan, M., Birdsey, R., Dugan, A. J., Olguin, M., Mascorro, V. S., & Kurz, W. A., 2018, Climate change mitigation in Canada's forest sector: a spatially explicit case study for two regions, *Carbon Balance and Management*, 13(1).

Smyth, C., Kurz, W. A., Rampley, G., Lemprière, T. C., Schwab, O., 2016, Climate change mitigation potential of local use of harvest residues for bioenergy in Canada, *GCB Bioenergy*, 9(4), 817–832.

Smyth, C.E., Dugan, A.J., Olguin, M., Birdsey, R., Wayson, C., Alanís, A., Kurz, W.A., 2020, A synthesis of climate change mitigation options based on regional case studies of the North American forest sector using a harmonized modeling approach, *Natural Resources Canada, Canadian Forest Service*, *Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia*, BC-X-455, 22.

Solarin, S. A., 2020, An environmental impact assessment of fossil fuel subsidies in emerging and developing economies, *Environmental Impact Assessment Review*, 85, 106-443.

Stephenson, N. L., Das, A. J., Condit, R., Russo, S. E., Baker, P. J., Beckman, N. G., Coomes, D. A., Lines, E. R., Morris, W. K., Rüger, N., Álvarez, E., Blundo, C., Bunyavejchewin, S., Chuyong, G., Davies, S. J., Duque, Ewango, C. N., Flores, O., Franklin, J. F., Zavala,

M. A., 2014, Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size, *Nature*, 507(7490), 90–93.

Sturtevant, B.R., Bissonette, J.A., Long, J.N., Roberts, D.W., 1997, Coarse woody debris as a function of age, stand structure, and disturbance in boreal Newfoundland, *Ecological Applications,* 7, 702–712.

Teobaldelli, M., Cona, F., Stinca, A., Saulino, L., Anzano, E., Giordano, D., Migliozzi, A., Bonanomi, G., D'Urso, G., Mazzoleni, S., & Saracino, A., 2020, Improving resilience of an old-growth urban forest in Southern Italy: Lesson(s) from a stand-replacing windstorm, *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, 126-521.

TUİK, 2020, National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2018, Türkiye İstatistik Kurumu.

Tolunay, D. ve Çömez, A., 2008, Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Hatay, 750-765.

Tolunay, D., 2011, Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(3), 265-279.

Tolunay, D., 2013. Türkiye'de artım ve ağaç servetinden bitkisel kütle ve karbon miktarlarının hesaplamasında kullanılabilecek katsayılar, *Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu*, 26-28 Kasım 2013, 240-251.

UNFCCC, 2016b., 2016, *Summary of the Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change*, http://bigpicture.unfccc.int/#content-the-paris-agreement, [Ziyaret tarihi: 17 Temmuz 2020].

van der Werf, G. R., Morton, D. C., DeFries, R. S., Olivier, J. G. J., Kasibhatla, P. S., Jackson, R. B., Collatz, G. J., Randerson, J. T., 2009, CO2 emissions from forest loss, *Nature Geoscience*, 2(11), 737–738.

Vevšenak, 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(10), 1090.

Viswanathan, B., 2016, Energy Sources: Fundamentals of Chemical Conversion Processes and Applications, *Elsevier*, (1), ISBN-13: 978-0444563538.

Waheed, R., Sarwar, S., & Wei, C., 2019, The survey of economic growth, energy consumption and carbon emission*, Energy Reports*, 5, 1103–1115.

Walkley, A., Black. I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Science, 63:251-263.

Weiss G., 2013, Innovation in Forestry: New Values and Challenges for Traditional Sector, In: Carayannis E.G. (eds), *Encyclopedia of Creativity, Invention, Innovation and Entrepreneurship*, Springer, New York, NY. ISBN: 978-1-4614-3857-1.

Williams, C.A., H. Gu, R. MacLean, J.G. Masek, and G.J. Collatz., 2016, Disturbance and the carbon balance of US forests: A quantitative review of impacts from harvests, fires, insects, and droughts, *Global and Planetary Change*, 143, 66–80.

Xu, Z., Smyth, C.E., Lemprière, T.C. ve diğ., 2018, Climate change mitigation strategies in the forest sector: biophysical impacts and economic implications in British Columbia, Canada, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23, 257–290.

Yaltırık, F., 1966, *Belgrad Ormanı Vejetasyonunun floristik analizi ve Ana Meşçere Tiplerininin Kompozisyonu Üzerine Araştırmalar*, Doktora Tezi, Orman Genel Müdürlüğü yayınlarmdan, No:436:6, Dizerkonca Basımevi. İstanbul.

Young, R. A., & Giese, R. L., 2002, Introduction to Forest Ecosystem Science and Management (3rd ed.). Wiley, ISBN-13: 978-0471331452.

Zamolodchikov, D. G., Grabovskii, V. I., Korovin, G. N., Gitarskii, M. L., Blinov, V. G., Dmitriev, V. V., & Kurz, W. A., 2013, Carbon budget of managed forests in the Russian Federation in 1990–2050: Post-evaluation and forecasting, *Russian Meteorology and Hydrology*, 38(10), 701–714.

Zamolodchikov, D.G.; Grabovsky, V.I.; Korovin, G.N.; Kurz, W.A., 2008, Assessment and projection of carbon budget in forests of Vologda Region using the Canadian model CBM-CFS (in Russian), *Lesovedenie*, 6: 3-14.

Zhou, D., Zhao, S.Q., Liu, S., Oeding, J., 2013, A meta-analysis on the impacts of partial cutting on forest structure and carbon storage, *Biogeosciences*, 10, 3691– 3703.

Zon, R., 1920, Forests and Human Progress, *Geographical Review*, 10(3), 139-166.

EKLER

ÖZGEÇMİŞ