

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Merve ERSOY MİRİCİ

**KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE
DOĞU AKDENİZ BÖLGESİ EKOSİSTEM HİZMETLERİNİN
KARBON TEMELLİ MODELLENMESİ**

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

ADANA, 2017

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE
DOĞU AKDENİZ BÖLGESİ EKOSİSTEM HİZMETLERİNİN
KARBON TEMELLİ MODELLENMESİ

Merve ERSOY MİRİCİ
DOKTORA TEZİ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

Bu Tez 27/09/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr.
Süha BERBEROĞLU
DANIŞMAN

Prof. Dr.
Faruk ALTUNKASA
JÜRİ ÜYESİ

Yrd.Doç.Dr.
Ufuk GÜLTEKİN
JÜRİ ÜYESİ

Prof. Dr.
Meryem ATİK
JÜRİ ÜYESİ

Doç. Dr.
Çiğdem ÇOŞKUN HEPCAN
JÜRİ ÜYESİ

Bu Tez Enstitümüz Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından
Desteklenmiştir.

Proje No: FDK-2014-2832

Bu Çalışma Türkiye Çevre Koruma Vakfı (TÜÇEV) Tarafından Desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve
fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat
Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE
DOĞU AKDENİZ BÖLGESİ EKOSİSTEM HİZMETLERİNİN
KARBON TEMELLİ MODELLENMESİ**

Merve ERSOY MİRİCİ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
Yıl: 2017, Sayfa: 234

Jüri : Prof. Dr. Faruk ALTUNKASA
: Yrd.Doç.Dr.Ufuk GÜLTEKİN
: Prof. Dr. Meryem ATİK
: Doç. Dr. Çiğdem ÇOŞKUN HEPCAN

Bu çalışmada, Türkiye Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan araştırma alanında karbon depolama ve karbon tutulumu süreci "Ekosistem Hizmetleri (ES)" çerçevesinde modellenmiştir. Karasal karbon depolama ve karbon tutulum hizmetine yönelik birim alanda; (i) toprak üstü biyokütle karbonu, (ii) toprak altı biyokütle karbonu, (iii) toprak karbonu ve (iv) döküntü karbonu dinamikleri Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımı ile haritalanmıştır. Karbon tutulumunun belirlenmesi sürecinde geçmiş (1990-2003) ve güncel (2014) arazi örtüsüne ait mevcut eğilimler dikkate alınarak gelecek arazi örtüsü (2025-2055) tahmin edilmiştir. ES hiyerarşisinde iklim düzenleme hizmeti kapsamında değerlendirilen karbon depolama ve tutulumunun ekonomik değerini belirlemek amacı ile Regional Integrated Model of Climate and Economy (RICE) modelinden yararlanılarak, antropojen etki ile atmosfere salınan bir ton CO₂ salınımının sosyal maliyeti ülkemize yönelik modellenmiştir. Araştırmanın son aşamasında araştırma alanına ait karbon depolama havuzları/yutakları, güncel-gelecek arazi örtüsü dinamikleri ve karbonun sosyal maliyeti (SCC) bileşenlerine ait sonuçlar Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) yaklaşımı aracılığı ile modellenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekosistem hizmetleri, Karbon depolama, Karbon tutulumu, Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC), InVEST

ABSTRACT

PhD. THESIS

MODELLING ECOSYSTEM SERVICES BASED ON CARBON CONSIDERING OF EASTERN MEDITERRANEAN REGION THE GLOBAL CLIMATE CHANGE

Merve ERSOY MİRİCİ

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF LANDSCAPE ARCHITECTURE

Supervisor : Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU

Year: 2017, Page:234

Jury : Prof. Dr. Faruk ALTUNKASA

: Asst. Prof. Dr. Ufuk GÜLTEKİN

: Prof.Dr. Meryem ATİK

: Assoc. Prof.Dr. Çiğdem ÇOŞKUN HEPCAN

Carbon storage and sequestration process for the study area located at the Eastern Mediterranean Basin of Turkey was modelled within the frame of “Ecosystem Services” in this study. Terrestrial carbon storage and sequestration service for each unit area was mapped through carbon dynamics including; (i) above ground biomass carbon, (ii) below ground biomass carbon, (iii) soil organic carbon and (iv) litterfall carbon, with the support of Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS). Future Land Use/Land Cover (LULC) (2025-2055) was modelled considering the change trends of past LULC (1990-2003) and present LULC (2014) during the estimation of carbon sequestration process. Social cost of one ton CO₂ emitted to the atmosphere as result of anthropogenic activities was estimated for Turkey using Regional Integrated Model of Climate and Economy (RICE) to determine the economic value of carbon storage and sequestration which considered as climate regulation service in the ES hierarchy. In the final stage of this research, carbon storage and sequestration services were modelled through Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) approach by incorporating the carbon pools, current-future LULC and SCC outputs.

Key words: Ecosystem services, Carbon Storage, Carbon Sequestration, Social Cost of Carbon (SCC), InVEST

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Doğada yaygın olarak bulunan karbon (C), tüm yaşayan organizmaların ortak ve temel elementlerinden biridir. Birçok elemente göre yüksek bağ kurma özelliği olan karbon, doğada hem tek hem de bileşikler halinde bulunmaktadır. Özellikleri nedeniyle fotosentez sürecinden glikoz yapısına kadar canlı ve cansız yapılarda bulunan karbon, son yüzyılda küresel ısınmaya sebep olması nedeniyle giderek önemli bir çevresel bileşen haline dönüşmüştür.

Bu çalışmanın amacı, arazi ve peyzaj planlama stratejilerinin küresel iklim değişikliğini dikkate alan ekosistem ürün ve hizmetleri yaklaşımı ile değerlendirilmesi ve yeni bir bakış açısı geliştirmektir. Bu kapsamda Türkiye'nin Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan araştırma alanında karasal karbon depolama, karbon tutulumunun ekonomik değeri modellenmiştir. Buna ek olarak birim alandaki karbon ekonomik değerini peyzaj planlama stratejileriyle ilişkilendirilmesi amacıyla 74 alt havzada ekolojik ve ekonomik değerlendirme yapılmıştır.

Araştırmada karasal karbon havuzlarının tahmin edilmesi sürecinde; (i) toprak üstü biyokütle karbonu, (ii) toprak altı biyokütle karbonu, (iii) toprak karbonu ve (iv) döküntü karbonu UA ve CBS yardımı ile haritalanmıştır. Toprak üstü biyokütle karbonu Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) envanter raporları kapsamında kullanılan Arazi Kullanımı, Arazi Değişimi ve Ormancılık İyi Uygulama Kılavuzu (Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (GPG-LULUCF)) esas alınarak hesaplanmıştır. Toprak altı biyokütle karbonu ise toprak üstü biyokütle karbonuna ait tür bazında dönüşüm katsayısı kullanılarak tahmin edilmiştir. Toprak karbonu, arazi toprak örneklerinin Walkley Black Toprak Organik Karbon (TOK) tayini yöntemi ile kimyasal analiz çıktılarına dayandırılmaktadır. Analiz sonuçları ile hibrit enterpolasyon tekniği olan Regresyon Kriging (RK) yöntemi kullanılarak toprak karbonu tahmin edilmiştir.

Döküntü karbonu ise aynı alanda yürütülen farklı bir arazi çalışması sonuçları kapsamında değerlendirilmiştir. Bu sayede araştırma alanındaki dört temel karbon havuzu yüksek hassasiyetle tahmin edilmiştir.

Karbon havuzlarının arazi örtüsü dinamikleri ile ilişkilendirilmesi amacıyla 1990, 2003 ve 2014 Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı (AÖ/AK) haritaları hibrit sınıflama yaklaşımı ile 3.düzye CORINE kategorileri esas alınarak sınıflandırılmıştır. AÖ/AK sonuçları ile havzadaki genel arazi örtüsü eğilimi belirlenmiştir. Mevcut durum senaryosu (Buissnes As Usual-BAU) temel alınarak Multi-Layer Perceptron (MLP)-Markov Chain (MC) algoritması yardımıyla 2025 ve 2055 yıllarına ait gelecek arazi örtüsü modellenmiştir.

Doğal yolla atmosferden karasal ekosisteme bağlanan karbona ait ekonomik değer, RICE2010 modeli kullanarak ülkemize yönelik uyarlanmıştır. Çalışmada atmosfere salınımindan kaçınılan bir ton CO₂'nin karasal karbon havuzlarında tutulmasına yönelik Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC) tahmin edilmiştir.

Çalışmada yüksek hassasiyet ve farklı metodolojiler ile üretilen karbon bileşenleri, güncel-gelecek AÖ/AK ve ülkemize yönelik SCC sonuçları, InVEST modelleme yaklaşımıyla karbon tutulumunun tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre araştırma alanının güncel karbon depolama hizmeti 222.134.190 USD, 2014-2025 projeksiyonu karbon tutulum hizmeti 6.982.021 USD ve 2014-2055 projeksiyonu karbon tutulum hizmeti 50.309.903 USD tahmin edilmiştir. Buna ek olarak 74 mikro-havzanın karbon depolama, karbon tutulum ve karbon ekonomik değerlendirme hizmetleri küresel ısınma ve karbon ekonomisi çerçevesinde birbirleri ile karşılaştırılabilir biçimde ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca değerli yardım ve katkılarını, proje deneyimlerini, maddi ve manevi her türlü desteğini benden esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU'na şükran ve ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında bilgi alış verişinde bulunduğum, tezime emeği geçen, Tez İzleme Komite üyeleri sayın hocalarım Prof. Dr. M. Faruk ALTUNKASA ve Yrd. Doç. Dr. Ufuk GÜLTEKİN'e, doktora savunma sınavı sonrası yapıcı eleştirileri ve olumlu katkılarıyla Prof. Dr. Meryem ATİK ve Doç. Dr. Çiğdem ÇOŞKUN HEPCAN hocalarıma teşekkür ederim. Tez araştırması sırasında katkılarından yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Onur ŞATIR ve Yrd. Doç. Dr. Pınar ASLANTAŞ BOSTAN'a, zorlu arazi koşullarında bilgi birikimi ve yol göstericiliği ile yanımda olan Orman Başmühendisi Murat TUTAR'a ve katkılarından dolayı Adana Orman Bölge Müdürlüğü'ne, toprak kimyasal analizleri sürecinde yardımları ile Prof. Dr. Selim KAPUR'a, Dr. Somayyeh RAZZAGHİ, Hülya IŞIK'a ve Berna BAKLACIOĞLU'na, ekonomik analizlerde katkılarından dolayı Arş.Gör. Esmâ GÜLTEKİN'e teşekkür ederim.

Tez projemi destekleyerek maddi olarak sağlayan Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Destekleme birimine ve Türkiye Çevre Koruma Vakfı'na teşekkür ederim.

Son olarak lisans eğitim sürecinden itibaren her zaman yanımda olan, destek, umut ve mutluluk veren eşim Op. Dr. Emre MİRİCİ'ye, her kararımda beni koşulsuz destekleyen ve bugünlere gelmemi sağlayan ailem Figen, Sena ve Hayati ERSOY'a ve zor zamanlarımda bana sevgi ile kucak açan ailem Cemile, Sevim ve Yunus MİRİCİ'ye sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Merve ERSOY MİRİCİ

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Küresel İklim Değişimi ve Karbon Yutakları	5
1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Karbon Ekonomisi.....	7
1.2.1. Türkiye ve Karbon Ekonomisi.....	10
1.2.2. Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC).....	12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
2.1. Ekosistem Hizmetleri.....	15
2.2. Orman Biyokütlesi	21
2.3. Karbon Ekonomisi	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Çalışma Alanı	29
3.1.2. Yararlanılan Veriler	29
3.2. Yöntem.....	33
3.2.1. InVEST Modeli.....	37
3.2.2. Arazi Örtüsü /Arazi Kullanımı (AÖ/AK)	42
3.2.2.1.Arazi Örtüsü Sınıflama Haritaları (1990-2003-2014).....	43
3.2.2.2.Gelecek Arazi Örtüsü Tahmini (2025-2055)	47

3.2.3. Karbon Bileşenleri	52
3.2.3.1. Toprak Üstü Biyokütle Karbonu.....	52
3.2.3.2. Toprak Altı Biyokütle Karbonu	55
3.2.3.3. Toprak Organik Karbonu (TOK).....	56
3.2.3.4. Döküntü (Ölü Örtü)	67
3.2.4. Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC).....	68
4. BULGULAR.....	83
4.1. Çalışma Alanı Genel Özellikleri	83
4.1.1. Topografya.....	83
4.1.2. Toprak.....	84
4.1.3. Hidrolojik Yapı ve Havzalar.....	88
4.1.4. Bitki Örtüsü	91
4.1.5. İklim.....	94
4.1.6. Korunan Alanlar	94
4.1.7. Yerleşimler	96
4.2. Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı (AÖ/AK).....	97
4.2.1. Arazi Örtüsü Sınıflama Sonuçları (1990-2003-2014).....	97
4.2.1.1. Değişim Analizi	99
4.2.1.2. Doğruluk Analizi	105
4.2.2. Arazi Örtüsü Modellemesi.....	106
4.2.2.1. Multi Layer Perceptron (MLP)	106
4.2.2.2. Doğruluk Analizi	113
4.2.2.3. Gelecek Arazi Örtüsü Tahmini (2025-2055)	114
4.3. Karbon Bileşenleri	118
4.4.1. Toprak Üstü Biyokütle Karbonu	118
4.4.2. Toprak Altı Biyokütle Karbonu	124
4.4.3. Toprak Organik Karbonu (TOK)	127
4.4.3.1. Toprak Örnekleri.....	127
4.4.3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	130

4.4.3.3. Toprak Örnek Analiz İstatistikleri	134
4.4.3.4. Regresyon Analizi.....	137
4.4.3.5. Variogram Analizi	142
4.4.3.6. Regresyon Kriging Sonuç Haritası	144
4.4.3.7. Model Validasyonu.....	150
4.4.3.8. Toprak Organik Karbon (TOK)	152
4.4.4. Döküntü (Ölü Örtü).....	158
4.4. Karbonun Sosyal Maliyeti Bulguları (RICE).....	160
4.5. InVEST Model Sonuçları.....	168
4.6.1. Karbon Depolama Haritaları.....	170
4.6.2. Karbon Tutulum Haritaları.....	176
4.6.3. Ekonomik Değerleme.....	181
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	193
KAYNAKLAR	207
ÖZGEÇMİŞ	229
EKLER	230
EK-1. 2014 Arazi Örtüsü Haritası (Orman Örtüsü Dağılımı).....	232
EK-2. Mikro-havza karbon depolama ve karbon tutulum sonuçları.....	233



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	BMİDÇS ve KP taraf ve yükümlülük kategorileri.....	11
Çizelge 2.1.	Farklı kategorilerde ekosistem ürün ve hizmetleri.....	17
Çizelge 3.1.	Uydu görüntüleri metadata.....	45
Çizelge 3.2.	Karar ağacı algoritmasında yardımcı değişkenleri.....	46
Çizelge 3.3.	Çalışma alanında bulunan ağaç türleri BEF ve WD katsayıları	54
Çizelge 3.4.	Toprak üstü biyokütleyi toprak altı biyokütleye çevirme faktörü	55
Çizelge 3.5.	RK yöntemi yardımcı değişkenler.....	64
Çizelge 3.6.	Çalışma alanı kil-silt-kum oranı, tekstür sınıfları ve BD değeri.....	67
Çizelge 4.1.	Çalışma alanı WRB toprak sınıfları ve alansal dağılımı	84
Çizelge 4.2.	Tekstür sınıfları yüzde içerikleri ve alan dağılımı.....	87
Çizelge 4.3.	Çalışma alanındaki ilçelerin alansal dağılımı.....	96
Çizelge 4.4.	Çalışma alanı 1990-2003-2014 AÖ/AK dağılımları	97
Çizelge 4.5.	Çalışma alanı 1990-2003 ve 2003-2014 çapraz tablolama.....	101
Çizelge 4.6.	Çalışma alanı AÖ/AK sınıflama sonuçları doğruluk analizi.....	105
Çizelge 4.7.	Etkin faktörlerin cramer's V değerleri	109
Çizelge 4.8.	MLP model parametre ve sonuçları	109
Çizelge 4.9.	AÖ/AK geçiş olasılıkları.....	112
Çizelge 4.10.	ROC istatistik sonucu (2014)	114
Çizelge 4.11.	AÖ/AK model sonuçları alansal dağılımlar (2025-2055)	117
Çizelge 4.12.	Farklı orman ağacı türleri ve toprak üstü karbon değerleri	123
Çizelge 4.13.	Farklı orman ağacı türleri ve toprak altı karbon değerleri.....	126
Çizelge 4.14.	Toprak örnekleri değer aralıkları ve ortalama değeri	134
Çizelge 4.15.	Toprak örnekleri tanımlayıcı istatistikleri	135
Çizelge 4.16.	Toprak örnekleri normallik test sonuçları	136

Çizelge 4.17.	TOK ve yardımcı değişkenler için Pearson's korelasyon değerleri.....	139
Çizelge 4.18.	WRB sınıfları bağımlı ve bağımsız değişkenler.....	140
Çizelge 4.19.	RK yöntemi stepwise regresyon model sonuçları	141
Çizelge 4.20.	WRB toprak sınıfları TOK artık değer variogram parametreleri.....	142
Çizelge 4.21.	TOK tahmin sonuç parametreleri	147
Çizelge 4.22.	WRB sınıflarına göre TOK değerleri	148
Çizelge 4.23.	Farklı orman ağacı türleri ve TOK değeri	149
Çizelge 4.24.	RK model performans değerlendirme sonuçları	151
Çizelge 4.25.	WRB sınıflarına göre TOK içerik değerleri	155
Çizelge 4.26.	Farklı orman ağacı türleri ve TOK İçerik değerleri	156
Çizelge 4.27.	Seyhan Havzası döküntü bileşeni karbon miktarı	158
Çizelge 4.28.	Türkiye'ye ait ekonomik parametreler	161
Çizelge 4.29.	RICE model parametreleri - 2005	161
Çizelge 4.30.	RICE modelinde üretilen sonuç parametreleri (2015).....	163
Çizelge 4.31.	RICE modeli SCC ve indirgeme oranı tahmin sonuçları	164
Çizelge 4.32.	Ülke veya bölgelerin SCC (USD), indirgeme oranı (%) ve MU(c)	165
Çizelge 4.33.	Toplam karbon havuzları ortalama ve toplam değerleri.....	175
Çizelge 4.34.	Çalışma alanında toplam karasal karbon tutulumu	177
Çizelge 4.35.	Havzaların toplam ve ortalama karbon tutulum değerleri.....	177
Çizelge 4.36.	Karasal karbon depolama hizmetinin toplam ekonomik değerlendirme sonucu (Güncel).....	181
Çizelge 4.37.	Çalışma alanı karasal karbon tutulumunun toplam ekonomik değerlendirme sonuçları.....	183
Çizelge 4.38.	Alt-havzalara göre karbon tutulumu ekonomik değerlendirme analiz sonuçları.....	183
Çizelge 4.39.	Mikro-havza karbon ekonomik değerlendirme sonuçları	189

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	(a)Atmosferik CO ₂ ve sıcaklık anomali eğilimi, (b) Yutaklar ve Salınım arasındaki değişimler (Quéré ve Canadell, 2013)	3
Şekil 1.2.	Küresel karbon havuzları (Lal, 2008).....	5
Şekil 1.3.	Karbon Ekonomisinde Kullanılan Değerleme Yöntemleri	10
Şekil 1.4.	Karbonun sosyal maliyetinin genel çerçevesi	13
Şekil 3.1.	Tez alanı konumu	29
Şekil 3.2.	Çalışma alanı LANDSAT 5 TM görüntüsü (29 Ağustos 1990).....	30
Şekil 3.3.	Çalışma alanı LANDSAT 5 TM görüntüsü (17 Ağustos 2003).....	31
Şekil 3.4.	Çalışma alanı LANDSAT 8 OLI/TIRS görüntüsü (13 Eylül 2014).....	32
Şekil 3.5.	Çalışmanın Yöntem Akış Şeması.....	34
Şekil 3.6.	Karasal karbon depolama ve karbon tutulumu arasındaki ilişki.....	38
Şekil 3.7.	Zaman artışında orman AÖ/AK sınıfında topraküstü biyokütle katsayısı	40
Şekil 3.8.	Çalışmadaki hibrit sınıflama yöntemi akış şeması	44
Şekil 3.9.	Obje tabanlı sınıflama hiyerarşisi prensibi	47
Şekil 3.10.	AÖ/AK sınıflama haritaları ve simülasyon ilişkisi.....	48
Şekil 3.11.	Çalışmadaki MLP-MC yöntem akış şeması	48
Şekil 3.12.	MLP yapısının genel mimarisi	51
Şekil 3.13.	Çalışmada toprak üstü ve toprak altı biyokütle hesaplama yöntemi..53	
Şekil 3.14.	Çalışmadaki Regresyon Kriging (RK) yöntemi	57
Şekil 3.15.	Variogram modeli ve parametreleri.....	59
Şekil 3.16.	RK şeması	61
Şekil 3.17.	Toplam fayda ve marjinal fayda.....	70
Şekil 4.1.	Yükseklik haritası.....	83
Şekil 4.2.	WRB toprak sınıfları haritası	86

Şekil 4.3. Toprak tekstür haritaları ve tekstür oranları.....	87
Şekil 4.4. Toprak tektür sınıfları haritası.....	88
Şekil 4.5. Hidroloji haritası	89
Şekil 4.6. Alt-havza ve mikro-havza sınırları	90
Şekil 4.7. Orman meşcere haritası (2002-2014).....	92
Şekil 4.8. Orman meşcere haritası (2014-2033).....	93
Şekil 4.9. Çalışma alanında yer alan korunan alanlar	95
Şekil 4.10. Çalışma alanındaki yerleşimlerin dağılımı	96
Şekil 4.11. Çalışma alanı 1990-2003-2014 AÖ/AK sınıflama sonuç haritaları.....	98
Şekil 4.12. 1990-2003 AÖ/AK sınıfları (a) kazanç ve kayıpları (%), (b) net değişimleri (%)	100
Şekil 4.13. 2003-2014 AÖ/AK sınıfları (a) kazanç ve kayıpları (%), (b) net değişimleri (%)	100
Şekil 4.14. 1990-2003 AÖ/AK sınıfları değişim analizi haritası.....	102
Şekil 4.15. 2003-2014 AÖ/AK sınıfları değişim analizi haritası.....	103
Şekil 4.16. Çalışma alanı 1990-2003 ve 2003-2014 AÖ/AK sınıf geçişleri.....	104
Şekil 4.17. MLP sinir ağları modeli girdi veriseti (Etkin Faktörler)	108
Şekil 4.18. Çalışma alanı dönüşüm potansiyeli haritaları.....	110
Şekil 4.19. (a) Gözlenen 2014 AÖ/AK ve (b) Modellenen 2014 AÖ/AK.....	113
Şekil 4.20. 2025 AÖ/AK sonuç haritası	115
Şekil 4.21. 2055 AÖ/AK sonuç haritası	116
Şekil 4.22. AÖ/AK sınıflama haritası eğilimi (%) (1990-2003-2014-2025-2055).....	117
Şekil 4.23. Çalışma alanı ağaç hacim değerleri haritası	119
Şekil 4.24. Biyokütle karbonu tahmininde yersel değişkenliğin sağlanması	119
Şekil 4.25. Ağaç kapalılık yüzdesi haritası.....	120
Şekil 4.26. Toprak üstü biyokütle karbonu sonuç haritası.....	122

Şekil 4.27. Toprak altı biyokütle karbonu sonuç haritası	125
Şekil 4.28. Toprak örneklerini toplama	128
Şekil 4.29. Toprak örnekleri konumları.....	129
Şekil 4.30. Çalışma alanında toprak örneklerinin alındığı noktalar	130
Şekil 4.31. Toprak örnekleri kurutma ve eleme işlemleri.....	131
Şekil 4.32. Mohr tuzunun hazırlanması.....	132
Şekil 4.33. Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) hazırlanışı	132
Şekil 4.34. Toprak örneklerinin 0.5 gr ölçülerek tekerrürlerin hazırlanması.....	133
Şekil 4.35. $K_2Cr_2O_7$ ve H_2SO_4 yanma ve soğuma sonrası saf su ve H_3PO_4	133
Şekil 4.36. (a) TOK (%) histogram, (b) TOK (%) kutu diyagramı	135
Şekil 4.37. TOK örnekleri Q-Q grafiği.....	136
Şekil 4.38. WRB toprak sınıflarına ait variogram modelleri.....	143
Şekil 4.39. RK yöntemi yardımcı değişken haritaları.....	144
Şekil 4.40. (a) TOK artık değer haritası ve (b) TOK standart sapma haritası	145
Şekil 4.41. Toprak organik karbonu (%) sonuç haritası	146
Şekil 4.42. RK TOK tahmin sonuçları (a) histogram, (b) kutu diyagramı	147
Şekil 4.43. RK modeli korelasyon sonucu.....	152
Şekil 4.44. Toprak karbon havuzu sonuç haritası (TOK İçeriği).....	154
Şekil 4.45. Farklı orman ağacı türleri ve ortalama TOK içerikleri kutu diyagramı.....	156
Şekil 4.46. Çalışma alanı döküntü haritası	159
Şekil 4.47. RICE model çıktılarının ülke düzeyinde karşılaştırmaları (2015)	166
Şekil 4.48. InVEST modeli karasal karbon havuzu girdileri (2014)	169
Şekil 4.49. Karasal karbon havuz bulguları (2025)	171
Şekil 4.50. Toplam karasal karbon depolama haritaları (2014 ve 2025).....	172
Şekil 4.51. Karasal karbon havuz bulguları (2025)	173

Şekil 4.52. Toplam karasal karbon depolama haritaları (2014 ve 2055).....	174
Şekil 4.53. Karbon tutulum haritası (2014-2025).....	178
Şekil 4.54. Karbon tutulum haritası (2014-2055).....	180
Şekil 4.55. Karbon depolama ekonomik değerlendirme sonuç haritası (2014)	182
Şekil 4.56. Karbon tutulumu ekonomik değerlendirme haritası (2014-2025)	186
Şekil 4.57. Karbon tutulumu ekonomik değerlendirme haritası (2014-2055)	187



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFOLU	: Agriculture, Forestry and Other Land Use
AGB	: Above Ground Biomass
AÖAK	: Arazi Örtüsü Arazi Kullanımı
ASO	: Aşağı Seyhan Ovası
BAU	: Business As Usual
BD	: Bulk Density
BEF	: Biomass Expansion Factor
BGB	: Below Ground Biomass
BLUE	: Best Linear Unbiased Estimate
BLUP	: Best Linear Unbiased Prediction
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CC _{TLB}	: Carbon Content Total Live Biomass
CF	: Carbon Fraction
CI	: Clay Index
CTI	: Compound Topographic Index
GCMs	: Global Climate Models
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GLS	: Generalized Least Squares
GPG	: Good Practice Guidance
GS	: Growing Stock
GSI	: Grain Size Index
IAMs	: Integrated Assessment Models
InVEST	: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

IDW	: Inverse Distance Weighthing
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
KED	: Kriging with External Drift
KIA	: Kappa Index of Agreement
LCM	: Land Change Modeler
LULC	: Land Use Land Cover
LULUCF	: Land Use, Land Use Change and Forestry
ME	: Mean Error
RMSE	: Root Mean Square Error
MC	: Markov Chain
MEA	: Millennium Ecosystem Assessment
MLP	: Multi Layer Perceptron
MLR	: Multi Lineer Regression
NPP	: Net Primary Product
NIR	: National Inventory Report
NPV	: Net Present Value
OAP	: Orman Amenajman Planı
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OK	: Ordinary Kriging
OT	: Orman Toprağı
Pg	: Petagram ($1Pg=10^{12}$ gram)
ppm	: Parts per million
ppmv	: Parts per million volume
PPP	: Purchasing Power Parity
SAVI	: Soil Adjustment Vegetation Index
SIC	: Soil Inorganic Carbon
SCC	: Social Cost of Carbon
SOC	: Soil Organic Carbon (%)

SOCC	: Soil Organic Carbon Content (Mg ha ⁻¹)
SOM	: Soil Organic Matter
RBF	: Radial Basis Function
RCPs	: Representative Concentration Pathways
RK	: Regresyon Kriging
TEV	: Total Economic Value
Tg	: Teragram (1Tg=10 ⁹ gram)
TOK	: Toprak Organik Karbonu
TOM	: Toprak Organik Maddesi
TÜFE	: Tüketici Fiyatları Endeksi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UA	: Uzaktan Algılama
UK	: Universal Kriging
UNEP	: United Nations Environment Programme
VAD	: Value of Avoided Damage
YSH	: Yukarı Seyhan Havzası
WD	: Wood Density
WCED	: World Commission on Environment and Development
WMO	: World Meteorological Organization
WRB	: World Reference Base



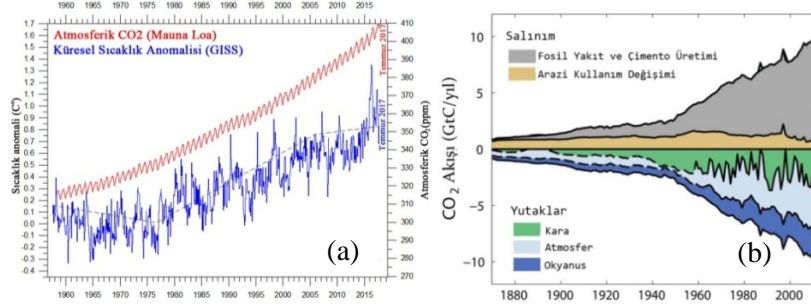
1. GİRİŞ

Etkileşim içindeki farklı ekosistemlerin bir araya gelerek oluşturduğu, benzer formlarda tekrar eden heterojen yapıdaki yeryüzü parçası, peyzaj kavramını ifade etmektedir (Forman ve Godron, 1986). Ekosistem dengesinde biyotik ve abiyotik faktörlerin etkileşimleri sürekli olarak doğal ve kültürel peyzajlarda devamlılık göstermektedir. Doğal süreç içerisinde biyo-jeokimyasal döngüler ekolojik sistem dengesini korumaktadır. Bu doğal denge içerisinde ekosistemin insan için sağladığı tüm faydalar “Ekosistem Hizmetleri (Ecosystem Services-ES)” olarak nitelendirilmektedir. Ekosistem üzerinden sağlanan tüketim, ister doğrudan ister dolaylı olsun insan için yaşamsal bir öneme sahiptir. Ekosistem içinde tüketici sınıfında yer alan insan, ekosistem hizmetleri sayesinde doğadan yararlanırken aynı zamanda gereksinimlerini karşılama sürecinde bu hizmetlere zarar vermektedir. Dünyanın sahip olduğu ekosistem kaynaklarının kısıtlı olması, bu kaynaklar üzerinde artan talep ve çevresel problemlerin kamuoyu tarafından kabul görmesi ile doğal kaynakların niteliksel, niceliksel ve ekonomik değerlerinin belirlenmesi giderek önem kazanmaktadır.

Doğal kaynakların sınırlı olduğu ve çevresel problemlerin hükümetler tarafından resmi bir şekilde kabul edilmesi 1972 yılında, Stokholm Konferansı aracılığı ile gerçekleşmiştir. Konferans, gelişmiş ve gelişmemiş ülke ayırımı yapmaksızın ülkesel çevre problemlerinin küresel düzeyde etki göstereceğinin kabulü bakımından küresel farkındalığı yayma amacına hizmet etmiştir. 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) çabaları ile Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) oluşturulmuştur. IPCC, insan kaynaklı küresel ısınma ve küresel iklim değişikliğine karşı önlemlerin geliştirilmesini hedeflemektedir. Bu doğrultuda sürece katkı sağlaması öngörülen hükümetlerin bir araya getirilmesi amacıyla 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) birçok ülke tarafından kabul edilmiştir. Kyoto

Protokolü (KP) ise BMİDÇS'nin eki olarak kamuoyuna sunulmuştur. Bu kapsamda iklim değişikliği ve atmosfer bileşimine zarar veren sera gazlarının kontrolü ilk kez gündeme gelmiştir. 1997 yılında çerçevesi bütünü ile oluşturulan protokol 1998 yılında imzaya açılmış, detaylı yükümler ise 2001 yılında kabul edilmiştir. Türkiye, BMİDÇS ve KP'ne 2009 yılında taraf olmuştur.

KP protokolün temel amacı, atmosferdeki seragazı emisyonunun (yoğunluğunun), iklim değişimine etki yapmayacak düzeyde dengede kalmasını sağlamaktır. Protokole göre sera gazları; Karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄), Diazot Monoksit (N₂O), Hidroflorokarbonlar (HFC), Perflorokarbonlar (PFC) ve Kükürt Heksaflorid (SF₆) olmak üzere altı temel gaz olarak belirlenmiştir. Farklı etki ve etkenlerle açığa çıkan sera gazı bileşiklerinin büyük bölümü karbon (C) elementinden meydana gelmektedir. Atmosferde su buharından sonra en yoğun derecede kızılötesi ışını tutan ve çevresine ısı yayan bileşik CO₂ gazıdır. Troposfer tabakasındaki emisyon ve ısı artışı ekosistem dengesinin değişmesine neden olmaktadır. Özellikle iklimsel felaketler, deniz seviyesinin yükselmesi ve buzullardaki kütleli kayıplar gelecek için endişe verici bir kaygı oluşturmaktadır. Bu doğrultuda fotosentez aracılığı ile atmosferik CO₂ gazının karasal ekosisteme bağlanması/aktarılması seragazı etkisini azaltan en önemli ekosistem hizmetlerinden biridir. Bu doğrultuda atmosferik ve karasal ekosistem arasındaki karbon dengesi küresel iklim değişikliğinin azaltılmasında kritik bir öneme sahiptir (IPCC, 2013). Sera gazlarının ve aerosollerin etkilerini birlikte dikkate alan duyarlı iklim modelleri, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 2100 yılına kadar 1-3.5 °C arasında bir artış olacağını öngörmektedir (Türkeş, 2001). Son yüzyılda insan etkisi ile atmosfere salınan CO₂ artışları ve buna bağlı olarak artan sıcaklık anomalileri gelecek için endişe verici göstergelerdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. (a) Atmosferik CO₂ ve sıcaklık anomali eğilimi, (b) Yutaklar ve Salınım arasındaki değişimler (Quéré ve Canadell, 2013)

Küresel iklim değişikliği antropojen etkilerle artan sera gazı ve özellikle atmosferde biriken CO₂ gazı ile doğrudan ilişkilidir. Küresel iklim değişimi ekseninde artan karbon salınımlarının engellenmesi ve çevresel problemlerin önüne geçilmesi bakımından uluslararası düzeyde arayışlar ve çözümler geliştirilmesi kaçınılmaz duruma gelmiştir. Küresel iklim değişimini engellemek amacıyla öne sürülen düşük karbon ekonomisi yaklaşımı, temelde enerji üretimi ve sanayi sektörü için oluşturulmuş bir platformdur. Bu çalışma kapsamında ise ekosistemin temel dengelerinden birini oluşturan karasal karbon yutaklarının peyzaj planlarında nicel ve akılcı bir çerçeve ile yorumlanması hedeflenmiştir. Böylelikle nicel yöntemler ile ortaya konulan karbon bütçelerinin peyzaj planları ile ilişkilendirilmesi sağlanarak düşük karbon ekonomisi yaklaşımının arazi kullanım politikaları ile bağdaştırılması amaçlanmıştır.

Ekosistem dinamikleri ile insan ihtiyaçları arasında ciddi bir ilişkinin bulunması yalnızca ekolojik değil aynı zamanda ekonomik tedbirlerin alınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. 1977 yılında Herman Daly, “*Steady State Economics*” teorisi ile doğal çevrenin kapasitesine bağlı olarak uygun bir ekonomik ölçeğin kullanılmasını savunmaktadır. Durağan durum ekonomisi olarak tanımlanan bu görüşe göre doğal kaynakların üzerindeki baskının öngörülemez artışı doğal kaynakların tükenmesine yol açacaktır. Bu durum ekonominin fiyatlar tarafından değil, ekolojik limitler tarafından belirleneceği görüşü ortaya çıkmıştır

(Daly, 1991). Enerji akışının ekonominin başlıca amacı olduğunu vurgulayan Liu ve ark. (2010), doğal kaynaklar aracılığı ile sağlanan ham madde ve enerjinin sermaye, iş gücü ve hükümet hizmetleri için temel ekonomik girdileri meydana getirdiğini belirtmiştir. Bu kapsamda Costanza ve ark. (1997), ekolojik ve ekonomik sistemlerin ortak bir paydada yer aldığını vurgulayarak doğal kaynakların ekonomik değerlerinin sorgulanması gerekliliğinin altını çizmiştir.

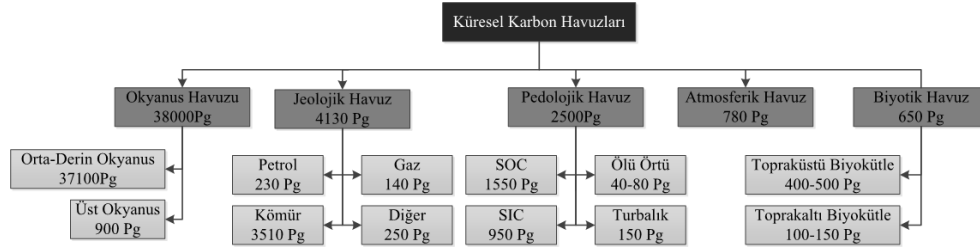
Bu kapsamda günümüzde ekosistem değerlendirmelerinde yeni bir çerçeveye sunan ekosistem ürün ve hizmetleri yaklaşımından yararlanılmıştır. Ekosistem hizmetleri, insanların doğrudan ve dolaylı olarak ekosistem üzerinden sağladığı faydalar bütünüdür (Costanza ve ark. 1997). Yararlanılan yaklaşımın kapsadığı çerçevenin çok geniş olması, ekosistem faydalanmalarının niceliksel göstergelere dayandırılması ve küresel iklim değişikliği endişelerinin giderek artması sebebi ile bu tez çalışmasında iklim düzenleme hizmeti esas alınmıştır. Ekosistem hizmetleri çerçevesinde iklim düzenleme hizmetinin temel göstergesi karbon depolama ve karbon tutulum süreçleri ile doğrudan ilişkilidir. (MEA, 2005; MEA, 2007; Bolin ve Kheshgi, 2001). Karbonun nerede ne düzeyde depolandığı ve tutulumu hakkındaki niceliksel bilgi gereksinimi peyzaj yönetiminde büyük bir öneme sahiptir (Conte ve ark. 2011; Sharp ve ark. 2016).

Bu doğrultuda araştırmanın temel hedefleri; (i) baskın olarak orman ekosistemini (karbon yutakları) içeren çalışma alanında, geçmişten günümüze Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı (AÖ/AK) eğiliminin belirlenmesi, (ii) bu eğilimden yola çıkarak olağan durum (Business As Usual-BAU) senaryosu altında geleceğe yönelik AÖ/AK modellemesinin gerçekleştirilmesi (iii) güncel ve gelecek peyzajlarda karasal karbon depolama ve karbon tutulumunun belirlenmesi ve (iv) bu doğrultuda karbon depolama ve tutulumu hizmetine ait ekonomik değer, ülkemiz göstergeleri temel alınarak modellenmesi ve haritalanmasıdır. Bu kapsamda sonuç olarak arazi kullanımı ve bozunumundan kaynaklı küresel iklim değişikliğine katkısı bulunması amacı ile birim alana düşen karbonun ekolojik ve ekonomik kapasitesi doğrultusunda alt-havza ölçeğinde kırsal peyzaj planlama

stratejilerinin geliştirilmesine yarar sağlayacak altlıkların ortaya konulması sağlanmıştır. Bu doğrultuda Uzaktan Algılama (UA), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak Doğu Akdeniz Havzası'nda önemli bir ekosistem verimliliğine sahip araştırma alanında hassas ve yüksek doğrulukta modellemeler gerçekleştirilmiştir.

1.1. Küresel İklim Değişimi ve Karbon Yutakları

Küresel iklim değişimi altında yatan en önemli neden karbon havuzları arasındaki akış dengesinin bozulmasıdır. Sanayi ve arazi kullanım değişiminden kaynaklı etkiler karasal karbon depolarının zarar görmesine ve dolayısı ile atmosferik karbon emisyonlarının artışı ile sonuçlanmaktadır. Atmosferik karbon emisyonlarının sera gazı etkisini azaltarak küresel iklim değişikliği tehdidinin önlenmesi için doğal süreçlerden biri karbonun karasal havuzlarda depo edilmesidir.



Şekil 1.2. Küresel karbon havuzları (Lal, 2008)

Lal (2008)'in belirttiğine göre karasal karbon havuzları beş temel kategoriden oluşmaktadır (Şekil 1.2). Bu havuzlar arasında en büyük rol okyanuslardadır. Ancak antropojen etkinin görüldüğü ve karbon havuzlarının değişimine sebep olan havuzlar ise biyotik, pedolojik ve atmosferik karbon havuzları arasında gerçekleşmektedir. Küresel iklim değişikliği farkındalığının artması ile atmosferik karbonunun azaltılması yönünde teknolojik projeler

geliştirilmiştir. Bu projelerin başında jeolojik havuzlara atmosferik karbonun sıvılaştırılarak enjekte edilmesi önerileridir. Ancak bu öneri karbon sızıntılarının olabileceği, deprem riskinin bulunması ve ekonomik yükünün fazla olması gibi çelişkilerden dolayı eleştirilmektedir. Bu nedenle doğal süreçler ile ekosisteme ait biyotik ve pedolojik karbon havuzlarının önemi giderek artmaktadır.

Yeşil bitkiler fotosentez sırasında güneş enerjisini hem kullanır hem de karbondioksit aracılığı ile basit temel bileşiklerin oluşmasını sağlayarak dokularında biriktirir. Fotosentez sırasında su molekülleri oksijen ve hidrojene ayrılarak parçalanır. Hidrojen karbondioksitin glikoza (karbonhidrata) dönüşümünü sağlar. Bu sayede fotosentez sırasında karbon içeren moleküller üretilir. Fotosentez aracılığı ile bitki bünyesinde doku olarak biriken karbon orman biyokütlesini oluşturmaktadır (Atalay, 2015). Bitkiler sayesinde tutulan karbon hem bitkinin yaşayan metabolizmasında (kütlesinde) hem de toprağa iletilerek depolanmaktadır (Evrendilek, 2004; Byrne ve Black, 2003).

Dünyadaki en büyük organik karbon depoları olarak kabul edilen topraklar (pedolojik havuz) karasal ekosisteme ait karbon havuzlarının yaklaşık %50-75'ini oluşturmaktadır (Lal, 2010; Luo ve ark. 2010). Topraklar, Toprak Organik Karbonu (TOK) ve Toprak İnorganik Karbon (TİK) havuzlarından meydana gelmektedir (Mondal ve ark. 2016). TOK ise Toprak Organik Maddesi (TOM)'nden meydana gelmektedir. TOM, genel olarak biyokütle, ölü örtü ve humus bileşenlerinde bulunan organik maddeden oluşmaktadır. Toprakta bulunan TOM düzeyinin yaklaşık %58'i TOK düzeyini belirlemektedir (Lal, 2014a). Canlı veya ölü bitki ve hayvan artıklarının toprağa karışarak ayrışması sayesinde toprakta bulunan organik madde miktarı ve dolayısı ile organik karbon artış göstermektedir. Toprak havuzundaki artış toprakta karbon tutulumunu sağlayarak iklim değişikliğini azaltma veya adaptasyon konusundaki doğal yardımcılarından biridir (Brandy ve Weil, 2010).

Buna ek olarak mevsimsel geçiş veya çevresel faktörler sebebiyle bitki örtüsünden toprak yüzeyine dökülen bitki artıkları içerdikleri organik madde ile

toprak verimliliğini arttıran önemli faktörlerden biridir (IPCC, 2003). Toprak üstünde bulunan ağaç ve çalılara ait dal, sürgün, kozalak, meyve ve yaprakların dökülmesi ile ölü örtü tabakasının oluşmasını sağlamaktadır. Döküntü halindeki ölü örtü toprak yüzeyinde çürüyerek kimyasal reaksiyonlar aracılığı ile karbon, azot, kükürt ve fosfor gibi bileşenlerine ayrışır (Saatçi, 1975). Ölü örtü miktarını etkileyen en önemli bileşenler ise orman örtüsü kapallığı ve bitki türü olarak ifade edilebilir. Özellikle yapraklı ormanlarda kapallılık ne kadar artarsa ölü örtü miktarı da o doğrultuda artış göstermektedir. Bu durumda ölü örtü aracılığı ile toprağa karışan organik madde ve karbon bileşiklerinin miktarı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Toprakta artış gösteren karbon miktarı yükseldikçe toprakta biriken karbon yutaklarında olası bir artış söz konusudur. Bu özellikleri ile atmosfer havuzundan karasal ekosisteme bağlanan karbon mekanizması hem ekosistem verimliliğinin artması yönünde olumlu etki sağlarken aynı zamanda küresel iklim değişikliği ve bu değişikliğin ekonomik zararlarının azaltılmasına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır.

1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Karbon Ekonomisi

İnsanların yaşamsal fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için karşılamak zorunda olduğu ihtiyaçlar sonsuzdur ve süreklilik arzeder. Bu doğrultuda insanlar ekosisteme ait ürün ve hizmetler aracılığı ile mutlak bir fayda sağlamaktadır. Ekosistemin ücret ödenmeksizin sermaye olarak kullanıldığı ekonomik yapı, ulusların sürekli büyüme arzusuna hizmet eden en önemli faktördür. Özellikle endüstrileşme sonrası doğal sermayenin tahribi ve CO₂ emisyon artışı, dünyanın ekonomik büyüme, kalkınma ve gelişme unsurları ile paralellik göstermektedir (Başoğlu, 2015; Şahin, 2013).

Ekonomik sistem ve ekolojik sistem doğal sermaye açısından önemli olan süreçler, akımlar ve stoklar arasındaki geçişler ile oluşmaktadır. Bu bağlamda ekonomik sistem ekolojik sistemin alt bileşeni olarak çalışmaktadır. Ekonomik

sistem içinde oluşan üretim ve tüketim süreçleri ekosistemi tehdit eden atık maddeler ve emisyonlar üretmektedir. Çevrenin bozulumu ve artan emisyonlar ekonomik büyümenin bir çıktısı olarak, günümüz ve gelecek nesilleri büyük ölçüde etkilemektedir. Ekonomik büyüme, Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH)'daki artışlar dolayısıyla toplam üretim düzeyindeki sürekli olarak artış olarak tanımlanmaktadır. Ekonomik gelişim ve büyüme unsurları nedeniyle özellikle ekosistemin gelecekteki durumunun endişe verici olduğu konusunda karamsar bakış açıları bulunmaktadır. Bu durum küresel iklim değişimi açısından ele alındığında ise öne sürülen sav; gelecekte seragazlarının yayılmasındaki artış nedeniyle dışarıya yansıtılan radyasyonun bugünkünden daha büyük miktarda Dünya atmosferinde tutulacağı ve genel ısınmaya ait yükseliş eğiliminin kaçınılmaz durumda olduğudur. Bu noktada temel soru; ekonomik büyüme ve gelişim hedefleri ile çıkılan bu yolda seragazi emisyonlarının sebep olduğu küresel iklim değişiminin bugün ve gelecekteki maliyeti veya ekonomik zararı hangi düzeyde olacaktır? Geçmişte doğal kaynak kullanımlarının ve büyümenin ekonomik getirileri tartışılırken, günümüzde ise küresel iklim değişiminin ekonomik zararı endişesi tartışılmaktadır. Bu noktada Diwany (2011), gelecek yıllardaki küresel ısınma maliyetlerinin bugünkü değerinin hesaplanabildiği karbon ekonomisi ve indirgeme oranının küresel ısınma tehdidinin bertaraf edilmesi amacıyla geliştirildiğini ifade etmektedir.

Kyoto Protokolü sonrası alınıp satılabilen bir emtiaya dönüştürülen karbon halen kesinlik arz eden tek bir mekanizmaya sahip değildir. Ülkemizde ve dünyada birden fazla yaklaşım ile ele alınan karbon ekonomisi yöntemleri Şekil 1.3'de özetlenmiştir. Şekil 1.3'te gösterilen karbon ekonomisi yöntemlerinin genel çerçevesi kategorize edilirken farklı çalışmalarda kullanılan, analiz edilen veya aktarılan yöntemlerin derlenmesi sağlanmıştır (Altunkasa 2013; Baggethunve ark. 2010; Başsüllü, 2014; Binboğa, 2014; Duman ve Önder, 2016; Görücü ve Eker, 2009; Mercan, 2013; Miteva ve ark. 2014; Öztürk ve ark. 2009; REC, 2015; Tol, 2009; Tolunay ve Başsüllü, 2015; Tunahan, 2010; Uyar ve Cengiz, 2011);

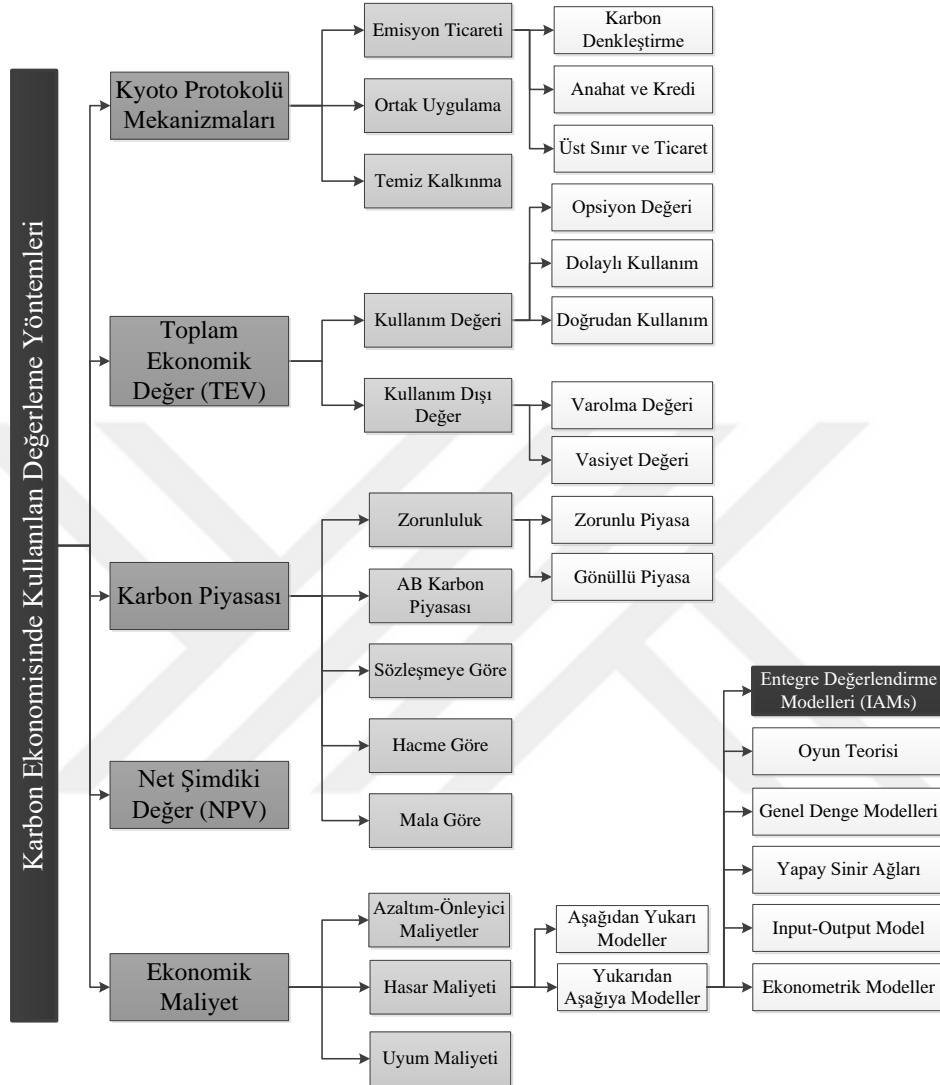
Net Şimdiki Değer: IPCC veya güvenilir bir araştırma kurumunun küresel düzeyde tahmin ettiği karbon fiyatı, başlangıç zamanından itibaren indirgeme oranı ve idare süresi kullanılarak CO₂'nin bugünkü ekonomik değerini hesaplamaktadır. Bu yöntem genellikle karbon yutakları olarak bilinen orman alanlarının karbon ekonomik değerinin bugünkü değerinin üretilmesi amacıyla uygulanmaktadır.

Toplam Ekonomik Değer: iktisadi bakımdan bir kaynağın değerinin bireysel tercihler tarafından belirlendiği görüşüne dayanır. Bu süreç insanın doğa üzerinden sağladığı doğrudan veya dolaylı faydaların fiyatlandırılmasına ait işlemler bütünü olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemde alt bileşenlerden gelen tüm değerlerin toplamı hedef değişkenin toplam ekonomik değerini belirlemektedir.

Kyoto Protokolü Mekanizmaları: protokole taraf ülkeler seragazı azaltım yükümlülüklerine sahiptir. Bu yükümlülükleri yerine getirebilmek amacıyla Ortak Uygulama ile Ek-1 ülkeleri kendi aralarında, Temiz Kalkınma ile Ek-1 dışı gelişmekte olan ülkeler ile elde ettikleri seragazı azaltım tasarruflarını kendi kotalarına dâhil edebilmektedir. Emisyon ticareti, ülke içi veya dışı yatırım ve projeler sonucundaki seragazı tasarruflarının karbon piyasalarında ticaretinin yapılabilmesini sağlamaktadır.

Karbon Piyasası: bir veya birkaç tarafın başka taraflara belli bir miktar seragazı emisyon kredisi karşılığında ödeme gerçekleştirdiği piyasa türüdür. Bu türde tek bir sözleşme veya tek bir alıcı-satıcı grubu bulunmamaktadır. Türkiye bu piyasalar içerisinde ancak Gönüllü Piyasalar olanaklarını kullanabilmektedir.

Ekonomik Maliyet: sosyal bilimler, ekonomi bilimi ve mühendislik alanlarının küresel iklim değişim öngörü ve maliyetlerini tahmin etmek için ortaya koyduğu modeller çerçevesidir. Bu modellerin genel amacı iklim değişiminde olası ekonomik maliyetleri öngörmek ve bu doğrultuda uygun politika seçimlerine zemin hazırlamaktır. Bu tez çalışmasında ekonomik maliyet analizleri altında yer alan Entegre Değerlendirme Model çerçevesinden yararlanılmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Karbon Ekonomisinde Kullanılan Değerleme Yöntemleri
(Mirici ve Berberoğlu, 2017)

1.2.1. Türkiye ve Karbon Ekonomisi

Türkiye BMİDÇS'ne taraf olması ile birlikte KP kapsamında oluşturulan karbon piyasalarındaki konumunu tartışmaya başlamıştır. Bu noktada sözleşme ve protokol çerçevesinde ülkelerin kategorizasyonunu belirleyen ekler kritik bir

öneme sahiptir. BMİDÇS'ne taraf olan ülkelerin sahip oldukları ortak yükümlülüklerin yanı sıra farklılaşan yükümlülükleri ek listeler ile belirlenmiştir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. BMİDÇS ve KP taraf ve yükümlülük kategorileri (REC, 2015)

Kategori	Taraflar	Yükümlülükler
UNFCCC	Ek I	<ul style="list-style-type: none"> • Avrupa Birliği ülkeleri • OECD ülkeleri (1990 üye olanlar) • Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri • Türkiye (Özel konumlu)
	Ek II	<ul style="list-style-type: none"> • Azaltım ve uyum konusunda program geliştirmek • Teknoloji transferi, araştırma ve eğitim alanlarında işbirliği yapmak
UNFCCC	Ek I	<ul style="list-style-type: none"> • Gelişmekte olan ülkelere azaltım ve uyum konularında mali ve teknik destek sağlamak
	Dışı	<ul style="list-style-type: none"> • Diğer Ülkeler • Her yıl seragazı envanterlerini sunmak • Ulusal politikaları hakkında bilgi veren Ulusal Bildirim Raporları sunmak • İklim değişimi mücadelesinde etkin rol üstlenmek
KP	Ek B	<ul style="list-style-type: none"> • Ek I ülkeleri • Türkiye ve Belarus hariç • Kyoto protokolünün I. Döneminde seragazı emisyonlarını azaltma ve sınırlama yükümlülüğü

Sözleşmeye taraf olan ülkelerin mevcut emisyon salınımlarını azaltmak amacıyla KP Mekanizmalarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bu mekanizmada kurallar; Ortak yürütme (Joint Implement-JI), Ek B ülkeleri kendi arasında ve Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism-CDM), Ek B ve Ek I dışı gelişmekte olan ülkelerle proje bazlı kota değişimlerinin sağlanmasıdır. Salım ticareti (Emission Trade-ET) ise Ek B ülkelerinin yatırım ve projeler sonucunda azaltım miktarlarının ticaretinin yapılması zemini. Bu zeminde Türkiye'nin konumu ise Ek I listesinde yer aldığı için CDM, Ek B listesinde yer almadığı için JI ve ET mekanizmalarından yararlanamamaktadır.

Türkiye durumundaki ülkelerin yararlanabildiği Gönüllü Karbon Piyasası (Voluntary Carbon Market-VCM) Kyoto Protokolü Mekanizmalarından bağımsız olarak çevresel ve sosyal sorumluluk projeleri çerçevesinde geliştirilmiş bir pazardır. Bu pazarda firmalar sera gazı emisyonunu azaltmak amacıyla projeler üretir ve Gönüllü Emisyon Azaltım (Voluntary Emission Reduction-VER)

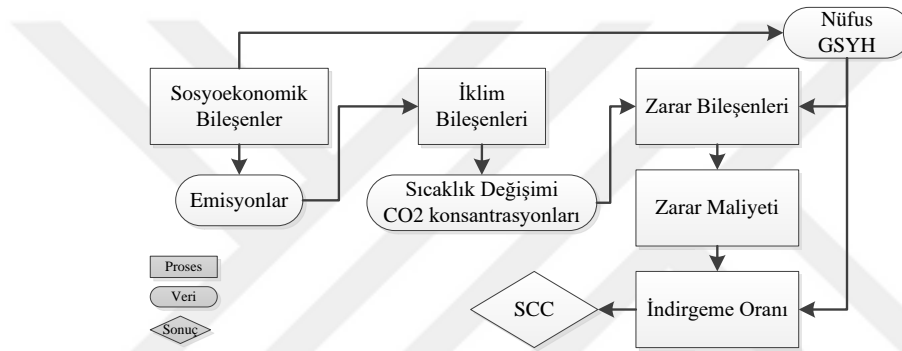
sertifikası almaya hak kazanır. Emisyon azaltımı politikalarına sahip firmalar VER sertifikalarını satın alabilmektedir. Bu sayede salınan CO₂ emisyonunu telafi etmek amacıyla başka firmaya para ödenmesi koşulu ile karbon denkleştirme (carbon offset) işlemi uygulanmaktadır (ÇŞB, 2012). Türkiye'nin emisyon değerinin firmalar tarafından farklı hesaplanması ve bu sistemin firmalar düzeyinde kalması gibi etkenler bu pazarın yaygınlaşmasını engellemektedir. Bu nedenle birim karbon fiyatının belirlenebilmesi amacıyla karbon ekonomisinde kullanılan azaltım-önleyici maliyet modellerlerinden biri olan Entegre Değerlendirme Modelleri (Integrated Assessment Models-IAMs) ülkemize önelik olarak uyarlanmıştır. Bu noktada temel amaç ekosistem hizmetleri kapsamında ele alınan karbon bileşenlerine ait ekonomik değerinin belirlenebilmesi için ülkemize özgü kullanılabilir bir karbon değeri üretilmesidir.

1.2.2. Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC)

Küresel iklim değişimi ülkelerin sahip olduğu ekonomik güç, nüfus, teknoloji ve enerji kullanımları gibi çok bileşene sahiptir. Bu nedenle de belirsizliğini ve stokastik yapısını korumaktadır. Küresel iklim değişimine ait bu belirsizliklerin asgari düzeye indirgenerek olası etkiler ve maliyetleri belirleyebilmek amacıyla doğa bilimcileri ve ekonomistler tarafından Entegre Değerlendirme Modelleri (Integrated Assessment Models-IAMs) yaklaşımı çerçevesinde birden fazla model geliştirilmiştir. Bu modeller arasında MERGE, FUND, PAGE, DICE ve RICE modelleri öne çıkmaktadır (Kumar, 2013). Bu modellerin ortak noktası küresel iklim değişiminin önlenmesi hedefiyle Marjinal Azaltım Maliyetinin, Marjinal Karbon Maliyetine eşit olduğu optimal düzeyi belirlemektir (İşcan ve Yılmaz, 2011).

Karbonun Sosyal Maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC), küresel ısınma ekonomisi ve politikasında yeni ve önemli bir kavramdır. SCC küresel düzeyde modellenbildiği gibi ülkesel veya bölgesel düzeyde de hesaplanabilmektedir.

Karbonun sosyal maliyeti, antropojenik etkiler ile atmosfere eklenen her bir ton CO₂ emisyonunun sebep olduğu ekonomik zararın maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Bir birim emisyon artışının ekonomik zarar maliyeti, bugün ve gelecekte olası ekonomik tahribatın şimdiki değerini ifade etmektedir. SCC'ye ilişkin tahminler temel olarak hedef ülke ekonomisi, atmosfere saldıği emisyon miktarı ve küresel jeofiziksel küresel ısınma parametrelerinden yararlanılarak üretilmektedir (Bijgaart ve ark. 2014; İşcan ve Yılmaz 2011; Nordhaus 2011).



Şekil 1.4. Karbonun sosyal maliyetinin genel çerçevesi (NASEM, 2017; Nordhaus ve Sztorc, 2013; Stern, 2006)

Karbonun sosyal maliyeti yaygın olarak emisyon azaltım faydalarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Özellikle hükümetlerin karbon emisyonları konusundaki politikalarının belirlenmesinde karbon ticareti ve karbon borsası gibi değişken zeminlerden ziyade ülkeye özgü ekonomi ve salınan emisyonlarının esas alındığı değerlendirmelerin yapılması gerçekçi bir zemin oluşturmaktadır. Şekil 1.4'te gösterilen çözümleme kutucuklarındaki yöntemler farklı olsa da karbon sosyal maliyeti tahmininde belirtilen genel çerçeve izlenmektedir. Süreç içindeki yöntemlerin farklı olmasının temel nedeni esas alınan ekonomik teorilerin farklılaşması, zaman tercih faktörünün farklı varsayımlar ile kabul edilmesi ve küresel, bölgesel veya ülkesel ölçek düzeyinde çalışılmasıdır. Bunun dışındaki

iklim parametreleri Küresel İklim Modelleri (General Circulation Modelleri-GCMs) sonuçlarını esas almaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında hedef ekosistem hizmetinin konumsal ekonomik değerlendirme haritalarının oluşturulabilmesi için karbonun sosyal maliyetinden (SCC) yararlanılmıştır. KP sonrası küresel karbon borsasındaki belirsizlikler, ülkemizin BMİDÇS ve KP mekanizmasında emisyon ticareti sisteminden yararlanamayarak yalnızca gönüllü karbon piyasasını aktif olarak kullanabiliyor olması, Türkiye’de gönüllü karbon piyasasının standart ekonomik değerler ile çalışmaması ve bu sistemin genellikle özel şirketler boyutunda kalmış olması gibi nedenler ile bu çalışmada karbonun sosyal maliyetine odaklanılmıştır. Bu sayede çalışmada özgün olarak ekosistem hizmetlerine yönelik değerlendirme çalışmalarında kullanılacak karbon fiyatının üretilmesi sağlanmıştır. Tez çalışması bu yönü ile hedef ekosistem hizmetine yönelik ekolojik kapasitenin konumsal dağılımını haritalarken aynı zamanda bu hizmete yönelik birim alanda ekonomik değeri de haritalamıştır. Bu haritalar peyzaj karakterinin karbon depolama ve karbon tutulum hizmetinin ekonomik değer haritası olarak ortaya konulmuştur.

Küresel iklim değişimi ve karbon ekonomisi ekseninde peyzaj karakterinin depoladığı ve tutulumunu sağladığı karbonun ekonomik değeri, toplumsal ve dolayısıyla küresel ekonomideki kayıplardan kaçınma değeri olarak hesaplanmıştır. Elde edilen toplam ekonomik çıktı küresel iklim değişiminin ekonomik zararından kaçınma maliyetini ortaya koymuştur. Buna ek olarak ekosistem hizmetinin birim alandaki ekonomik değerlendirme haritaları ise alt ölçekteki peyzaj plan kararlarının oluşturulmasında dayanak oluşturacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Ekosistem Hizmetleri

Güncel ekosistem hizmetleri teriminin kullanımı Paul ve Anne Ehrlich tarafından 1981 yılında “Extinction: the Causes and Consequences of the Disappearance of Species” kitabı ile başlamıştır. Türlerin yok oluşunun sebep ve sonuçları üzerine odaklanan bu çalışma, türlerin yok olma olasılığının ekosistemin sağladığı hizmetlerin de yok oluşunun habercisi olduğunun altını çizmiştir (Liu ve ark. 2010; Schröter, 2015).

1960-1970 yılları arasında yapılan çalışmalarda insana hizmet eden ekosistem fonksiyonları üzerinde durulurken, 1970-1980 yıllarını kapsayan çalışmalar ise biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistemler üzerindeki insan baskısının sebep olduğu ekolojik ve ekonomik sonuçlar üzerine odaklanmıştır. Ekoloji ve ekonomi bilim dallarının ortak bir paydada buluşmasını sağlayan en önemli adım 1982 yılında “Integrating Ecology and Economics” sempozyumu ile disiplinler arası boşluğu dolduran bir köprünün inşa edilme çabası olmuştur. Bu sempozyumun en önemli çıktılarından biri ekolojist Robert Costanza ve ekonomist Herman Daly işbirliği ile “Ecological Economics” dergisinin yayınlanmaya başlamasıdır (Voora ve Venema, 2008).

Bu gelişmelere paralel olarak 1987 yılında Birleşmiş Milletler (BM) çevre ve küresel kalkınma arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacı ile World Commission on Environment and Development (WCED) komisyonunu kurmuştur. WCED komisyonu tarafından hazırlanan “Our Common Future” isimli rapor kamuoyuna sunulmuştur. Ortak geleceğimiz ve Brundtland raporu olarak bilinen bu rapor, sürdürülebilirlik ilkesinin tanım ve kapsamını belirlemiştir. İnsan ve doğa arasındaki uyumun arttırılabilmesi için doğal kaynaklar, ekonomik, sosyal, üretim, teknoloji ve yönetim sistemleri arasındaki koordinasyonun sağlanması hedeflenmiştir. 1960’lı yılların kalkınma merkezli anlayışı ile 1970’li yılların çevreci anlayışını birleştiren rapor, kalkınma olgusunu sadece ekonomik bir içeriğe

sahip olmaktan kurtarıp daha geniş bir çerçeve ile ele alması ve nesiller arası adalet kavramını vurgulaması açısından oldukça önemlidir (Bozlağan, 2005: WCED, 1987). Constanza ve Daly, 1992 yılında birlikte yayınladıkları “Natural Capital and Sustainable Development” makalesinde, doğal sermaye için kullanılan kaynaklardan doğacak boşluğun nasıl kapatılabileceği, ekosistem hizmetlerinin nasıl ölçüleceği ve doğal sermayenin değerlendirilmesinde indirgeme oranını değerlendirmiştir.

1980 sonrasında ekosistem ürün ve hizmetlerine yönelik çalışmalar artış göstermiştir. Birbirinden bağımsız yürütülen bu çalışmalarda pek çok ekosistem hizmeti tanımlanmış ve kategorilendirilmiştir. Ekosistem hizmetleri farklı çalışmalarda birbirinden farklı kategorilerde yer almaktadır. Ekosistem hizmetlerinin uluslararası literatür çalışmalarında standart hale getirilmesi ise Binyıl Ekosistem Değerlendirmesi (Millennium Ecosystem Assessment-MEA) kapsamında ele alınmıştır. MEA'nın amacı, ekosistem hizmetleri hakkında bireysel ve bölgesel çalışmaları geliştirerek küresel düzeyde ortak bir terminolojinin ve platformun oluşturulmasıdır. Bu girişim insan ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla, değişen ekosistemlerin insan refahı açısından sonuçlarının bütünsel olarak değerlendirilmesi ve ekosistemin korunması için alınabilecek önlemlerin belirlenebilmesi amacı ile başlatılmıştır. İlk olarak 2000 yılında başlayan MEA çalışmaları, günümüzde pek çok hükümet, özel sektör, çevresel örgüt ve bilim insanı tarafından desteklenmektedir (MEA, 2003). Bu doğrultuda uluslararası literatür çalışmalarında sıklıkla MEA tarafından oluşturulan ekosistem kategorileri temel alınmaktadır (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. Farklı kategorilerde ekosistem ürün ve hizmetleri

Daily ve ark. (1997)		Costanza ve ark. (1997)	
<ul style="list-style-type: none"> *Su ve havanın arıtılması *Sel ve kuraklığın azaltılması *Atıkların detoksikasyonu ve dekompozisyonu *Toprak ve verimliliğin yenilenmesi ve üretilmesi *Tarım ürünleri ve doğal vejetasyonun tozlaşması *Potansiyel tarım zararlıları ve tohumların kontrolü *Biyçeşitliliğin tarım, ilaç ve ensütriyel girişimlerde anahtar üreticiliği *Güneşin ultraviyole ışınlarından korumu *İklimin stabilizasyonu *Sıcaklığın yumuşatılması *İnsan kültürünü destekleme *Estetik güzelliğin sağlanması 		<ul style="list-style-type: none"> *Gaz düzenleme *İklim düzenleme *Bozunum düzenleme *Su düzenleme *Su kaynağı *Erozyon kontrolü *Sediment tutma *Toprak formasyonu *Besin elementi döngüsü *Atık arıtma *Tozlaşma *Biyolojik kontrol *Habitat için yaşam alanı *Gıda üretimi *Hammadde *Genetik kaynak *Rekreasyon *Kültürel 	
MEA (2003)		TEEB(2009)	
TEDARİK HİZMETLERİ	<ul style="list-style-type: none"> *Gıda *Tatlı su *Yakacak odun *Lif *Biyokimyasal *Genetik kaynak 	TEDARİK HİZMETLERİ	<ul style="list-style-type: none"> *Gıda *Su kalitesi *Hammadde *Genetik kaynaklar *İlaç kaynağı *Süs bitkisi kaynağı
DESTEK HİZMETLERİ	<ul style="list-style-type: none"> *Toprak formasyonu *Besin elementi döngüsü *Birincil üretim 	DÜZENLEYİCİ HİZMETLER	<ul style="list-style-type: none"> *Hava temizleme *İklim değişimi düzenleme *Ekstrem olayların yumuşatılması *Su akışının düzenlenmesi *Atık arıtma *Su arıtma *Erozyon kontrolü *Tozlaşma *Biyolojik kontrol
DÜZENLEYİCİ HİZMETLER	<ul style="list-style-type: none"> *İklim düzenleme *Hastalık düzenleme *Su düzenleme *Su arıtma 	DÜZENLEYİCİ VE BAKIM HİZMETLERİ	<ul style="list-style-type: none"> *Biyota aracılığı ile kütle, gaz, sıvı akışları *Habitat gen havuzu koruma *Hastalık, zararlı kontrolü *Toprak formasyonu *Su (tatlı ve tuzlu suyun kimyasal durumu) *İklim düzenleme
KÜLTÜREL HİZMETLER	<ul style="list-style-type: none"> *Rekreasyon *Ekoturizm *Estetik *Eğitim *Kültürel miras 	KÜLTÜREL HİZMETLER	<ul style="list-style-type: none"> *Estetik *Rekreasyon *Ekoturizm *Kültürel değerler
		CICES(2013)	
		KÜLTÜREL HİZMETLER	<ul style="list-style-type: none"> *Fiziksel etkileşim deneyimleri *Estetik *Miras *Eğlence *Eğitim *Bilim

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Willamette Havzası'nda Nelson ve ark. (2009a) tarafından gerçekleştirilen araştırmada ekosistem ürün ve hizmetlerinin insana sağladığı yararların yanı sıra ekonomik çıktılarının da her geçen gün önem kazandığı belirtilmiştir. Ekosistem hizmetleri kapsamında biyoçeşitlilik koruma, toprak koruma, karbon tutulumu, su kalitesi ve pazarlanabilir üretim mallarının değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bahsi geçen bu hizmetlerin 1990-2050 yıllarını

kapsayan 10 yıllık dönemlerde i) Mevcut Eğilim, ii) Koruma ve iii) Gelişim senaryolarını dikkate alarak olası AÖ/AK arazi örtüsü değişimi modellenmiştir. InVEST yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada farklı senaryolarda karbon tutulumunun ekonomik değeri tahmin edilmiştir. Karbon tutulumunun sosyal maliyeti için Tol (2005)'in çalışmasını esas alan araştırma; Koruma senaryosu 1.6 milyon USD, Mevcut Eğilim senaryosu 0.9 milyon USD ve Gelişim senaryosu altında 0.8 milyon USD ile karbon tutulum hizmetinin ekonomik değerini tahmin etmiştir.

Gret-Regamey ve ark. (2008), önemli turizm ve kayak merkezi konumundaki İsviçre Alp Dağları, Davos Turizm merkezinde ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerini belirlemiştir. Çalışmada değerlendirilen ekosistem hizmetleri; görsel değerlendirme, karbon tutulumu ve habitat değerlemesidir. Bu doğrultuda ekosistem ürün ve hizmetleri kapsamındaki farklı literatür araştırmalarından yararlanılarak fayda transferi yöntemi kullanılmıştır. Önemli bir ekosisteme sahip İsviçre Alplerine yönelik bu çalışmada peyzaj planlama stratejilerinin geliştirilmesi de hedeflenmiştir. Araştırma yönteminde karbon tutulumuna yönelik bir ton CO₂ salınımindan korunma değeri 10 CHF olarak belirlenmiştir. 1997-2045 projeksiyonunun öngörüldüğü çalışmada Davos Turizm Merkezinde karbon tutulumuna yönelik toplam ekonomik değerlendirme -1.096.015 CHF düzeyinde tahmin edilmiştir. Araştırma sonuçları göstermiştir ki turizm merkezinin doğal ekosisteminin gelecekte tehlike altında olduğu, karbon tutulumu değil karbon salınıma neden olacağı ve bunun önlenmesi için yeni peyzaj planlarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır.

Portekiz'in Kuzeydoğu kesiminde yer alan Bragança Bölgesi'nin karbon tutulumuna yönelik tahminler Sil ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanında toplam karasal karbon depolama, toprak üstü biyokütle, toprak altı biyokütle, toprak karbonu ve döküntü karbonundan oluşan dört temel karasal karbon havuzuna ait karbon depolama kapasitesi tahmin edilmiştir. 1990 ve 2006 AÖ/AK haritaları kullanılarak 2020 yılına ait AÖ/AK modellemesi

gerçekleştirilmiştir. InVEST modelinin kullanıldığı çalışmada tek bir ekonomik değer ve tek bir indirgeme oranı kullanmak yerine alternatifli sonuçların üretilmesi sağlanmıştır. Alternatifli seçeneklerin kullanılmasının temel nedeni Dünya ekonomisinde standartlaştırılmış tek bir karbon fiyatının olmamasıdır. Bu doğrultuda karbonun sosyal maliyeti tahminleri konusunda söz sahibi olan Stern (2006), Nordhaus (2011) ve Tol (2008) tarafından belirlenen SCC ve indirgeme oranları kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan indirgeme oranları %1, %3 ve %7 olarak uygulanmıştır. Buna göre çalışma alanında karbon tutulumunun ekosistem hizmeti bedeli en yüksek 287,82 milyon USD en düşük 21,22 milyon USD değerinde tahmin edilmiştir.

Karasal karbon depolama ve karbon tutulumu arazi örtüsündeki insan etkisi ile büyük ölçüde ilişkidir. Ekosistem kaynakları doğru yönetilmediği takdirde yalnızca ekosistem değil, aynı zamanda ekonomiye de zarar vermektedir. Bu doğrultuda Tolessa ve ark. (2017) tarafından Etiyopya'da gerçekleştirilen araştırmada 1973 yılından 2015 yılına kadar arazi örtüsünden kaynaklı ekosistem hizmet kayıplarının ülke ekonomisine toplamda yaklaşık olarak 3.69 milyon USD zarara yol açtığını tespit etmiştir.

Ekosistem ürün ve hizmetlerine yönelik çalışmalardan biri Constanza (1997) tarafından 17 temel ekosistem hizmeti esas alınarak gerçekleştirilmiştir. 1997 yılında dünyanın toplam ekosistem ürün ve hizmetleri ekonomik bedeli 33 trilyon USD yr^{-1} (1995USD ppp) olarak belirlenmiş ve bu ekonomik değere yönelik küresel bir harita oluşturulmuştur. Costanza ve ark. (2014), 1997 yılında yapılmış bu çalışmayı güncelleyerek dünyanın sahip olduğu ekosistem hizmetleri bedelini 145 trilyon USD yr^{-1} (2007 USD ppp) düzeyinde tahmin etmiştir. 1997 ve 2011 yılları arasında arazi kullanımı değişikliğine bağlı olarak ekosistem hizmetlerine yönelik 4.3-20.2 trilyon USD yr^{-1} arasında ekonomik kayıp gerçekleştiğini vurgulamıştır.

Ülkemizde ise ekosistem ürün ve hizmetlerine yönelik yürütülmüş çalışmalar; Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından

Kıymetlendirme çalışmaları, Orman Genel Müdürlüğü tarafından Fayda Maliyet Analizleri ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından Entegrasyon Olasılıkları çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Balkız, 2015). Buna ek olarak 2012 yılından itibaren ülkemizde ekosistem ürün ve hizmetlerine yönelik tez ve araştırmalar artış göstermiştir. Tezer ve ark. (2011), İstanbul'da ekosistem hizmetlerinin özellikle sosyolojik boyutunu ele alarak kentsel planlama çalışmalarına entegrasyonun sağlanmasını hedefleyen TÜBİTAK projesi yürütmüştür. Albayrak (2012), kentsel peyzajı kapsayan İstanbul örneğinde Ömerli Havzası'nda belirlenen ekosistem hizmetlerine yönelik planlama stratejilerini geliştirilmesi; Pamukçu (2015), İstanbul'da yer alan Sazlıdere, Alibeyköy, Hağıthane) havzalarında su üretimi, toprak koruma ve karbon tutumuna yönelik tahminlerin üretilmesi ve peyzaj planlarına entegrasyon araştırmalarının gerçekleştirilmesi, Çokçalışkan (2016) Küre Dağları Milli Parkı ekosistem ürün ve hizmetlerinde koruma eksenli yeni bölgeleme yaklaşımının geliştirilmesi ve Erdoğan (2016) İstanbul'da yer alan Sazlıdere, Alibeyköy, Hağıthane havzalarının hidrolojik ekosistem hizmetlerinin belirlenmesi konusunda doktora tezleri üretilmiştir. Özellikle ekosistem hizmetlerinin ekolojik kapasitelerine ilişkin tahmin yapan bu araştırmalarda ekonomik değerlendirme sonuçları üretilmemiş, ekosistem hizmetleri ve planlama entegrasyonu dikkate alınmıştır. Serengil ve ark. (2016), İstanbul'da yer alan Sazlıdere, Alibeyköy, Kağıthane havzalarında karbon, su üretimi, toprak koruma, taşkın riski ve biyoçeşitlilik hizmetlerinin sayıllaştırılması ve ilgili hizmetlerin hesaplamasına yönelik yazılım geliştirilmesi konusunda TÜBİTAK projesi yürütmüştür. Buna ek olarak ekosistem hizmetlerine yönelik ekolojik kapasitenin üretilmesinin yanı sıra ekonomik sonuçların da üretildiği doktora tez çalışması Tülek (2017) tarafından Çankırı ve Ilgaz Bölgesi peyzajlarında gerçekleştirilmiştir.

2.2. Orman Biyokütlesi

Küresel iklim değişikliğinin azaltılması amacıyla BMİDÇS'ne taraf olan her ülke sistematik olarak her yıl Ulusal Sera Gazı Envanteri (National Inventory Resource-NIR) yayınlamakla yükümlü hale gelmiştir. Bu kapsamda ülkemiz her yıl NIR ve BMİDÇS kapsamında her 4 yılda bir ulusal bildirim sağlamaktadır. Bu kapsamda Türkiye'nin ilk ulusal bildirimini 2006 yılında gerçekleştirmiş, 2014 yılında ise ikinci ulusal bildirimini sağlamıştır (UNDP, 2007, 2010). NIR, Ek-I ülkelerinin sera gazı salınımlarını ve atmosferden bağladıkları CO₂ miktarı hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu kapsamda Türkiye, 2006 yılından itibaren sera gazı envanterlerini sistematik olarak oluşturmaya başlamıştır. Ülkemiz tarafından BMİDÇS sekreteryası'na sunulan ilk raporda 1990-2007 yılları arasında Türkiye ormanlarındaki karbon depolama/stok hesaplanmıştır (Pehlivan, 2014: Yolasığmaz ve ark. 2016).

Ülkemizde gerçekleştirilen ilk biyokütle çalışması, Uğurlu ve ark. (1976) ve Sun ve ark. (1980) tarafından gerçekleştirilmiştir. Uğurlu ve ark. (1976), Ankara Kızılcahamam yöresinde Sarıçam türlerine ait toprak üstü biyokütle tahmini gerçekleştirmiştir. Saraçoğlu (1988), Doğu Karadeniz ormanlarında kayın ağaçları için 55 farklı deneme alanında 510 ağaç ölçüm değeri kullanarak regresyon modeli yöntemi ile ağaç hacim ve biyokütle tablolarını tanımlanmıştır.

Ülkemizde bu konudaki geniş çaplı ilk uygulamalardan biri ise Asan (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir. Asan (1999), Türkiye'ye ait 1960-1975-1995 yılları arasında gelişen ormanların durumu, dikili ağaç serveti ve tahmin edilen orman biyokütlesi hakkında bilgi vermiştir. Biyokütle hakkında yapılan hesaplamalarda üç genel türe ait Biomass Expansion Factor (BEF) katsayıları, iğne yapraklı 1.20, yapraklı 1.25 ve baltalıklar için 1.40 olarak saptanmıştır. Bu çalışma ülkemiz fonksiyonel orman amenajman planlama uygulamalarında önemli bir yere sahip olup, Türkiye'ye ait toprak üstü biyokütleye ait bilgi veren ilk çalışmadır.

Elde edilen sonuçlara göre Türkiye ormanlarına ilişkin 1960 yılı için 19.148 Tg¹, 1975 için 6.010 Tg ve 1995 için 21.701 Tg toprak üstü biyokütle birikimi tahmin edilmiştir

Toprak üstü, toprak altı, ölü örtü ve toprakta depolanan karbon miktarını ortaya koyan Evrendilek ve ark. (2006), Akdeniz Bölgesi'nde yer alan 134.2 km² büyüklüğündeki Katran Çukuru mevkiinde çalışmışlardır. Özellikle ibreli türlerin hakim olduğu bölgede belirlenen parsellerde ağaçların çaplarına ait bilgiler toplanmıştır. Allometrik denklem kullanılarak ağaç hacimlerinin hesaplandığı çalışmada toprak üstü 83.0±67 MgCha⁻¹, toprak altı 14.8±12 MgCha⁻¹ karbon değerleri elde edilmiştir. Ölü örtüdeki karbonun tahmin edilmesi için 2004 yılında 5 farklı tarihte döküntü miktarları araziden toplanarak çürüme sonrasında kalan kütle üzerinde üssel azalma fonksiyonu hesaplanmıştır. Ölü örtüde sonuç olarak 0.376 ±0.191 MgCha⁻¹ düzeyinde karbon depolandığı tespit edilmiştir. Tahmin edilen dört farklı karbon havuzun toplam depolanma miktarı ise 3.6 Tg±1.4 TgC düzeyinde elde edilmiştir.

Görücü ve Eker (2009) özellikle karbon emisyonuna yönelik ekonomik bir değerlendirme çalışması gerçekleştirmiştir. Baskın türe ait karbon kapasitesi Kızılçam Hasılat Tablosu yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanı toplam 4756 Mg karbon depoladığı ortaya konulmuştur. Bu sonuçların hektara düşen değeri ise 45.08 MgCha⁻¹ olarak gözlenmektedir.

Türkiye genelinde biyokütle ve karbon depolanma kapasitesinin belirlenmesi yönündeki çalışmalardan bir diğeri de Tolunay (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan materyal, ülkemizin taraf olduğu BMİDÇS kapsamında 2004 yılında tamamlanan NIR verileridir. Ülke genelinde yapılan bu çalışmada farklı olarak toprak üstü ve toprak altı biyokütle, ölü örtü, ölü odun ve toprak bünyesindeki toplam karbon birikimine ilişkin tahmin yapılmıştır. Bu tahminde Türkiye toplam karasal karbon stoku 2251.26 Tg olarak

¹ Tg= 1000000 Mg= 1000000 Ton

hesaplanmıştır. Toplam karasal karbon depolarının %74.78 toprak, %25.22'si ise orman biyokütlesinden oluştuğu ifade edilmektedir. Elde edilen sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde ülkemiz verimli ormanlarında ortalama 41.66 MgCha⁻¹ tespit edilmiştir.

Çömez (2010) doktora tezi kapsamında Eskişehir Sündiken dağlarında yer alan araştırma alanında farklı örtülülük düzeyine sahip sarıçam meşçeresi üzerinde çalışmıştır. Tezin genel amacı sarıçam ağaç bileşenlerine ait kütle tahminlerinde kullanılacak denklemleri oluşturmak, karbon depolarında kullanılan katsayıları belirlemek ve birim alandaki karbon birikimini ortaya koymaktır. Araştırmada sarıçam meşçeresine ait 63 örnek belirlenmiş ve bu örnek ağaçlar kesilerek bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Tez çalışmasında toplam depo edilen karbon miktarı 0.66 Tg tahmin edilmiştir.

Durkaya ve ark. (2012), Bartın yöresinde gerçekleştirdikleri orman biyokütlesi çalışmasında örnek ağaçlardan toplanan göğüs çapı, ağaç boyu ve ağaç tür bilgileri geçmiş yıllarda farklı araştırmacılar tarafından oluşturulan regresyon denklemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada 82 örnek kullanılmıştır. En yüksek biyokütle miktarı KnGd3 meşçeresinde 846.925 Mgha⁻¹ iken, en düşük biyokütle GKnb3 meşçeresinde 299.415 Mgha⁻¹ tahmin edilmiştir.

Polat ve ark. (2012), Tarsus Karabucak'ta 2557 ha çalışma alanında orman biyokütlesi ve toprak karbonu tahmin edilmiştir. Yöntem olarak LULUCF kapsamında Orman Genel Müdürlüğü'nce kullanılan kılavuz ve denklemlerden yararlanılmıştır. İbrelî ve yapraklı türler olmak üzere iki genel sınıf altında değerlendirilen çalışmada orman biyokütlesi 0.105 Tg iken, toprak biyokütlesi 0.061 Tg olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre orman biyokütlesi ortalama 41.16 Mgha⁻¹ saptanmıştır.

Sivrikaya ve Bozali (2012), Kahramanmaraş Türkoğlu planlama biriminde gerçekleştirdikleri çalışmada 1991-2002 yılları arasındaki toprak altı ve toprak üstü biyokütlenin karbon depolama kapasitesi değişimini incelemiştir. Orman

biyokütlesi üzerinden hesaplanan toplam karbon depolama değerleri 1991 yılı için 0.134 TgC iken 2002 yılı için 0.161TgC olarak tahmin edilmiştir.

Tolunay ve Çömez (2008), Türkiye’de orman toprak ve ölü örtüsündeki organik karbon tahminine ilişkin bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada 1234 toprak profil örneği Walkley Black yöntemi ile analiz edilerek TOK miktarları hesaplanmıştır. Döküntünün hesaplaması içinse ağırlıkları bilinen örnekler önce organik maddeye ardından organik karbona dönüştürülmüştür. Toplam örneklemeleere ait TOK miktarı 0.8-448 MgCha⁻¹, ölü örtüdeki organik karbon miktarı ise 0.3-41.8 MgCha⁻¹ aralığında elde edilmiştir. Sonuç olarak ülkemiz ormanlarında ortalama 78 MgCha⁻¹ TOK ve 5.8 MgCha⁻¹ döküntü karbonu saptanmıştır.

Du ve ark. (2014), orman envanter verileri ve uzaktan algılama verilerini kullanarak konumsal biyokütle tahminini yapmıştır. Çin’de gerçekleştirilen çalışmada 2004-2008 yıllarına ait orman envanter verileri ve MODIS uydu verilerinden yararlanılmıştır. Orman envanter verileri BEF ve WD dönüşüm faktörleri ile birim alan biyokütle denklemine göre hesaplanmış olup, elde edilen biyokütle sonuçları MODIS görüntüsünden elde edilen ağaç kapallık verisi ile entegre edilmiştir. Araştırma sonuçları ortalama biyokütle değerini 76.3 Mgha⁻¹ olarak tahmin ederken Çin’e ait toplam orman biyokütlesi 11.9 Pg düzeyinde belirlenmiştir.

2.3. Karbon Ekonomisi

Türkiye ormanlarına yönelik ekonomik değer belirleme çalışmaları kapsamında Öztürk ve ark. (2009) ve Pak ve ark. (2010) tarafından gerçekleştirilen araştırmalar öne çıkmaktadır. Ormanların doğrudan ve dolaylı kullanım değerlerinin belirlenmesi amacıyla Toplam Ekonomik Değer (Total Economic Valuation-TEV) yaklaşımı her iki çalışmada da yöntem olarak kullanılmıştır. Çalışmalarda ülkemiz ormanlarının dışsallığına odaklanılmıştır. Bu doğrultuda orman kaynakları ve ormancılık için pozitif ve negatif dışsallık (externality)

irdelenmiştir. Çalışmada fayda transferi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Türkiye ormanları pozitif dışsallık maliyeti 482.4 milyon € (23.3€ha^{-1}), negatif dışsallık maliyeti -129.599 milyon € (-6.3€ha^{-1}) ve net dışsallık maliyeti 352 milyon € tahmin edilmiştir.

Karbon ekonomisinde değerlendirme için idare süresi, faiz oranı, biyokütle miktarı ve fiyat değişkenlerine ihtiyaç olduğunu belirten Görücü (2013), küresel ısınmada en yüksek paya sahip olan CO₂'nin yalnızca bilimsel çalışmalarda kalmamasını, proje ve planlama adaptasyonunun sağlanmasını önermiştir. Net Şimdiki Değer yönteminin kullanıldığı çalışmada ülkemize yönelik karbon fiyatı 35 USD olarak kullanılmıştır. Kızılçam meşcerelerinin yoğun olduğu 105.5 ha alanın karbon ekonomisine olan katkısı 220.437 USD olarak hesaplanmıştır.

Başsüllü (2014) Ormancılıkta Karbon Ekonomisi ve Borsası isimli doktora tezi çalışmasında Türkiye orman kaynaklarının karbon depolama hizmetini TEV yöntemi çerçevesi altında değerlendirmiştir. Ormanların aktif ve pasif kullanım değerini ölçen çalışma toplumun ödeme eğilimini belirlemiştir. Bu doğrultuda karbon depolama hizmeti Koşullu Değer Belirleme yöntemi ile hesaplanmıştır. Araştırmada 524 kişiye anket uygulanmıştır. Ankette toplumun orman ekosisteminin depoladığı karbonu arttırma, koruma, iyileştirme ve gelecek nesillere aktarım için şimdiden katlanılacak parasal maliyet tahmin edilmiştir. Çalışma, Türkiye ormanlarının toplam ekonomik değerinin 540.887.925,36 TL/yıl tahmin edilmiştir.

Ülkemizde bölgesel ölçekte ve biyokütle düzeyinde karbon depolama ve karbon ekonomisi üzerine yapılan çalışmalardan biri Şener (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Orman tiplerinin ekonomik karbon değerlerinin belirlenmesi aşamasında ağaç kurusu ağırlığı üzerinden %5 indirgeme oranı kullanılarak Net Şimdiki Değer (Net Present Value-NPV) hesaplanmıştır. Karbon yutaklarının ekonomik değeri için Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS) üzerinden fayda transferi sağlanmıştır. Çalışmada 2009 yılı için karbon birim fiyatı 18.72 USD olarak kullanılmıştır.

Ülkesel ölçekte yapılan çalışmaların birçoğu uluslararası literatürden elde edilen sonuçları kullanmaktadır. Uluslararası literatürdeki bu kaynaklar ise ekonomi ve iklim değişimi parametrelerini kullanarak modellemektedir. İklim değişimi konusunda temel kaynaklardan biri olan Stern (2006) Raporu, sera gazı emisyonlarının mevcut düzeyde artması durumunda 2100'e kadar sıcaklık artışının 3°C bulacağını, başlangıçta yaşanan 1-2°C'lik artışların ekonomik açıdan yarar sağlayabileceğini ancak 3°C'nin üzerindeki artışların her anlamda ekonomik zarar olarak insanlara mal olacağını öngörmektedir. Buna ek olarak küresel iklim değişiminin ilk zararlarının özellikle gelişmemiş ve fakir ülkeler üzerinde gerçekleşeceği ifade edilmiştir.

Küresel iklim değişim ve ekonomi alanında yapılan önemli çalışmalardan biri Nordhaus (1991) tarafından geliştirilmiştir. 1980-günümüz arasında sistematik olarak küresel iklim değişimi ve ekonomik zararları üzerine çalışan Nordhaus DICE ve RICE modellerini geliştirmiş ve modelleri sürekli olarak güncellemiştir. Çalışmaların genel amacı iklim değişikliğinin yavaşlatılması ve sera gazı kontrollerinin sağlanması temeline dayanmaktadır. Bu konudaki ilk uygulamalar ABD'nde gerçekleştirilmiş olup günümüzde küresel veya farklı ülkeler üzerine araştırmalar yürütülmektedir. RICE modeli 2010, DICE modeli ise son olarak 2016 yılında güncellenmiştir. DICE 2016 küresel düzeyde karbonun sosyal maliyetini 30,69 USD (2015ppp) tahmin ederken, RICE modeli bölgesel düzeyde farklı değerler ile modellemiştir (Nordhaus 1991; 2010; 2011; 2013; 2017).

Küresel ve bölgesel düzeyde küresel iklim değişimi ve karbon ekonomisine ait modellemelerden biri de FUND modelidir. Tol ve Anthoff (2010) tarafından geliştirilen FUND modeli, dünyayı 16 bölge düzeyinde değerlendirmiştir. FUND, iklim, karbon döngüsü, enerji kullanımı ve gelişimin temsiliyetini basitleştirerek değerlendiren entegre bir modeldir. Yalnızca karbon değil diğer sera gazlarına ilişkin de sosyal maliyetin hesaplandığı model, iklim hassasiyeti, indirgeme, sosyo-ekonomik faktörler ve emisyonla ilişkin bazı varsayımları kullanmaktadır. İlk kez 1997 yılında kullanılan model son güncellemesini 2014 yılında gerçekleştirmiştir.

Türkiye'nin Orta Doğu ve Afrika kıtası ile birlikte değerlendirildiği FUND modeli 2014 yılına ait tahminde küresel düzeydeki karbonun sosyal maliyetini baz senaryo üzerinde 6,6 USD (1995 ppp) olarak hesaplamıştır. Model 1950 yılından 3000 yılına kadar bir yıl aralıkla koşturulmaktadır (Waldoff ve ark. 2014) .

Karbonun sosyal maliyeti için PAGE modeli ilk olarak 1991 yılında geliştirilmiş ve son güncellemesini 2002 yılında gerçekleştirmiştir. Küresel iklim değişiminin ekonomik zararlarını tahmin etme amacıyla oluşturulan model; (i) zararların ekonomik maliyeti, (ii) zararların ekonomik olmayan zararları ve (iii) uyumun etkisi olmak üzere üç modülden meydana gelmektedir. Dünyayı sekiz bölge düzeyinde çalıştıran model 2000 yılından 2200 yılına kadar 11 farklı dönem için maliyet hesaplarını gerçekleştirmektedir. PAGE2002 modeli kullanılarak Hope (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bir ton CO₂ emisyonunun ekonomik zararı 19 USD (2000ppp) olduğu tahmin edilmiştir.



Çalışmanın temel aşamaları:**i) Güncel ve gelecek AÖ/AK haritalarının üretilmesi**

InVEST modeli birim alanda depolanan karbon havuzu bileşenleri doğrudan güncel ve gelecek arazi örtüsü sınıflarına atamaktadır. Böylece gelecek ve güncel karbon depoları arasındaki farktan yararlanarak karbon tutulumunun hesaplanması sağlanmaktadır. Hibrit sınıflama tekniği ile üretilen geçmiş ve güncel AÖ/AK haritaları kullanılarak gelecek AÖ/AK tahmini IDRISI Terrset yazılımında LCM modülü aracılığı ile Multi Layer Perceptron ve Markov Chain entegrasyon modeli yardımıyla üretilmiştir.

ii) Karbon bileşenlerinin (toprak üstü, toprak altı, toprak, döküntü) hesaplanması**Toprak üstü biyokütle karbonu:**

Toprak üstü biyokütle karbonunun hesaplanmasında KP protokolü kapsamında belirlenen GPG-LULUCF yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde temel veri ağaç servet/hacim verisidir. Tablo formatındaki ağaç servet değerleri sayısallaştırılmış ve ağaç hacim haritası üretilmiştir. Elde edilen harita ile biyokütle genişletme faktörü (Biomass Expansion Factor-BEF) ve ağaç yoğunluğu (Wood Density-WD) katsayıları kullanılarak toprak üstü biyokütle tahmin edilmiştir. Biyokütlenin hesaplanmasında hassasiyetin artırılması için BEF ve WD katsayıları ağaç türlerine özgü olarak geçmiş çalışmalardan elde edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında biyokütle tahmininin geliştirilmesi ve konumsal hassasiyetin artırılması amacıyla ağaç kapalılık yüzdesi verisi ile toprak üstü biyokütlesinin entegrasyonu sağlanmıştır. Elde edilen sonuç haritası biyokütleyi karbona dönüştürme faktörü ile çarpılarak birim alandaki toprak üstü biyokütle karbonu haritalanmıştır.

Toprak altı biyokütle karbonu:

Toprak altı biyokütle karbonunun hesaplanması sürecinde ilk aşama toprak üstü biyokütlenin hesaplanması aşamasıdır. Toprak altı biyokütle, toprak üstü biyokütlenin kök ve gövde oranını ifade eden R (Root/Shoot ratios) katsayısı

yardımı ile toprak altındaki biyokütleyi tahmin etmektedir. Toprak üstü biyokütleyi toprak altı biyokütle çevirme faktör olarakta isimlendirilen R katsayısı IPCC (2003) dökümanından elde edilmiştir.

Toprak organik karbonu:

Toprakta depolanan karbon miktarının belirlenmesi için araziden toplanan koordinatlı toprak örneklerinden yararlanılmıştır. Yaklaşık iki ay süren arazi çalışmasında 0-30 cm derinliğinden toprak örnekleri toplanmıştır. Araziden toplanan toprak örneklerinin kimyasal analizleri için Walkley Black organik madde tayini yöntemi kullanılmıştır. Kimyasal analizler Çukurova Üniversitesi Toprak ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Araziye ait 521 toprak örneği ile hibrit jeostatistiksel yaklaşımlardan biri olan Regresyon Kriging (RK) yöntemi kullanılarak 17 yardımcı/bağımsız değişken ile konumsal enterpolasyon yöntemi ile haritalanmıştır.

Döküntü karbonu

Çalışma alanına ilişkin döküntü/ölü örtü karbonu Berberoğlu ve ark. (2006) tarafından üretilen TÜBİTAK proje çıktılarından ve Meydan ve ark. (2010)'nın çalışma sonuçlarından temin edilmiştir. Döküntü verisi için arazi çalışmalarının iki yıllık dönemi kapsayan 10 farklı periyod içinde toplanmış olması, aynı çalışma için yeniden zaman ve işgücü gereksinimleri bulunduğundan dolayı çalışma kapsamı dışında bırakılarak mevcut araştırma sonuçlarından yararlanılmıştır.

iii) Karbon bileşenlerine ilişkin biyofiziksel tabloların hazırlanması

Çalışma alanında 30 m. çözünürlük ve yüksek hassasiyette karbon bileşenlerinin haritalanması sağlanmıştır. Elde edilen karbon bileşenlerinin InVEST modeline dahil edilebilmesi için güncel AÖ/AK haritası ile karbon bileşenleri arasındaki bağlantının kurularak biyofiziksel tabloların oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tablonun belirlenmesi sürecinde dört temel karbon bileşeni ve güncel AÖ/AK haritasındaki her bir sınıf altına düşen karbon kapasitesinin ortalama değeri belirlenir ($MgCha^{-1}$). Güncel veriler ile InVEST modeline tanıtılan

biyofiziksel tablo AÖ/AK sınıflarına ait dört karbon havuzunun geleceğe yönelik enterpolasyonunda girdi olarak kullanılmıştır.

iv) Karbonun ekonomik değerlemesi

Yöntemin temel aşamalarından biri atmosfere salınan karbon için birim fiyatın tahmin edilmesidir. Bu konuda yapılan araştırmalarda ülkemize yönelik birim karbon fiyatının olmayışı, farklı çalışmalarda farklı uluslararası ekonomik değerlerin kullanılması nedeniyle ülkemize yönelik kullanılabilir karbon ekonomik değerinin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bölgesel ölçekte karbonun sosyal maliyetini tahmin eden RICE2010 modeli kullanılmıştır. Modelin ülkemize uyarlanması için Türkiye'ye ait ekonomik göstergelerden, küresel ekonomik verilerden ve GCMs iklim parametrelerinden yararlanılmıştır. Böylece ülkemiz için antropojen etkiyle atmosfere salınan bir ton karbondioksitin fiyatı tahmin edilmiştir.

v) Karbon tutulumunun ekonomik ve konumsal dağılımının modellenmesi

Güncel ve gelecek AÖ/AK, karasal karbon bileşenleri, biyofiziksel tablo ve karbonun sosyal maliyeti sonuçları InVEST modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Gelecek ve güncel karbon depoları arasındaki farktan yararlanarak karbon tutulumu ve ekonomik değerlendirme haritalarını modellemiştir.

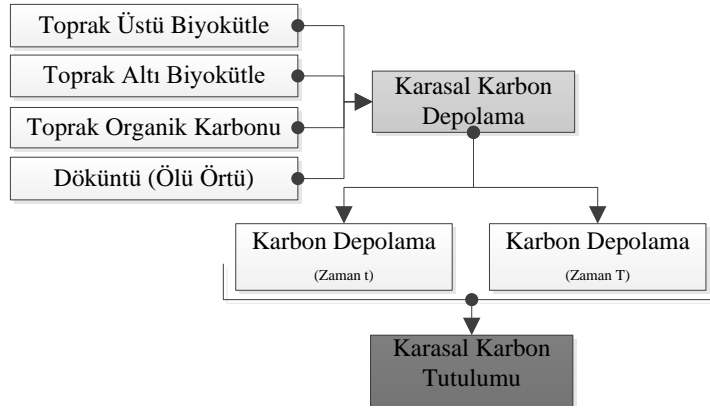
Bu bölümde çalışmanın yöntemi hiyerarşik olarak özetlenmiştir. Yöntemlerin geniş açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

3.2.1. InVEST Modeli

Ekosistem Hizmetleri Değerlemesi ve Takasının Bütünleştirilmesi (Integration Valuation of Ecosystem Services and Tradeoff-InVEST) modeli, Standford Üniversitesi'nde yürütülen *The Natural Capital* Projesi kapsamında ekolog ve ekonomistlerden oluşan geniş bir araştırma ekibi tarafından geliştirilmiştir. InVEST modeli, ekosistem ürün ve hizmet kategorileri altında yer alan tedarik, destek, düzenleyici ve kültürel hizmetleri kapsayan spesifik hizmet değerlendirme süreçleri, ekolojik ve ekonomik düzeyde modellemektedir. Farklı

ekosistem hizmetleri spesifik olarak farklı arayüzler altında çözümlenmektedir. Python dilinde geliştirilen algoritmaların CBS entegrasyonunu sağlaması ve farklı ekosistem hizmetlerinin farklı arayüzler aracılığı ile çözümlenmesi bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada kapsamında InVEST modeli iklim düzenleme hizmeti kategorisinde yer alan karbon depolama ve tutulum hizmetinden yararlanılmıştır. Bu model, peyzajlarda depolanan mevcut karbon depolama kapasitesinden yola çıkarak güncel ve gelecek arasında gerçekleşmesi olası karbon tutulumunu ve bu tutulumun ekonomik değerini ortaya koymaktadır.

Modelin çalışma prensibi, karbon depolarının yüksek hassasiyet ile modellenmesi ve farklı peyzaj karakterlerine ait AÖ/AK tiplerine atanması üzerine kurgulanmıştır. Belirli zaman dilimi içinde birim alanda ($MgCha^{-1}$) depolanan karbon kapasitesinin değişimi kullanılarak karbon tutulumu tahmin edilmektedir. Bu doğrultuda sıklıkla karıştırılan karbon depolama ve karbon tutulum mekanizması arasındaki ilişki Şekil 3.6'da kısaca özetlenmiştir. Birim zamanda birim alanda depolanan toplam karbon depolama kapasitesi ile geçmiş (t) veya gelecekteki (T) karbon depolama kapasitesi arasındaki fark karbon tutulumunu oluşturmaktadır.



Şekil 3.6. Karasal karbon depolama ve karbon tutulumu arasındaki ilişki

Karasal karbon havuzları heterojen peyzaj karakterlerinde depo edilen karbon kapasitesini ifade etmektedir. Modelde karbon depoları (i) topraküstü biyokütle, (ii) toprakaltı biyokütle, (iii) toprak ve (iv) döküntü olmak üzere dört temel karbon havuzunun büyüklüğüne bağlıdır. Karbon depoları farklı peyzaj karakterindeki AÖ/AK tipleri ile ilişkilendirilerek geleceğe yönelik tahmin üretmektedir. InVEST modeli, t birim zamanda j AÖ/AK sınıfında depolanan toplam karbon depolama miktarını Eşitlik 3.1’de ifade etmektedir (j=1,2,3,...).

$$C_{xt} = \sum_{j=1}^j A_{xjt} (C_{aj} + C_{bj} + C_{sj} + C_{oj}) \quad (3.1.)$$

C_{xt} , t zamanda x parselindeki toplam karasal karbon depolanmasını, A_{xjt} zamanla değişim göstermeyen parsel alanını, C_{aj} topraküstü biyokütle, C_{bj} toprakaltı biyokütle, C_{sj} toprak karbonu, C_{oj} döküntüdeki depo edilen karbon kapasitelerini göstermektedir (Conte ve ark. 2011). İlgili alandaki tüm parsellerde toplam karbon depolaması ise C_t ile Eşitlik 3.2’de verilmiştir (Gibbs ve ark. 2007; Glenday, 2006).

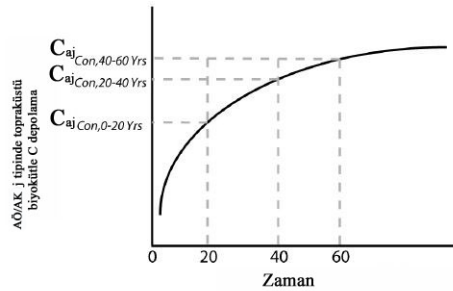
$$C_t = \sum_{x=1}^x C_{xt} \quad (3.2.)$$

t zaman diliminde j AÖ/AK sınıfındaki toplam karasal karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde C_t kullanılmaktadır. Peyzaj karakter yapısına göre alanda değişen AÖ/AK sınıf sayıları doğrultusunda artan zamanla her bir AÖ/AK tipi için yüksek miktarda kombinasyon oluşturmaktadır. Bu noktada x parselinde olası durumlar; (i) j AÖ/AK tipinin başka bir AÖ/AK tipine dönüşümü ve (ii) herhangi bir AÖ/AK dönüşümü gerçekleşmeden j AÖ/AK tipinin sabit kalmasıdır. Model j AÖ/AK tipinin sabit kalma durumunu olan j”, j AÖ/AK tipine zamansal

bir farkla değiştiğini varsaymaktadır. Bu durum mevcut ve değişmeyen orman tipinin zaman artışı ile büyümesini ifade etmektedir (Bachmann, 2013). C_{xt} , t zamanında x parselindeki toplam karasal karbon deposunu ortaya koyarken, C_{xm} x parselindeki $m \in [t, T]$ yıldaki karbon depolama kapasitesini belirlemeyi hedeflemektedir. m, t'den T'ya uzanan zaman dilimini işaret etmektedir.

$$C_{xm} = \sum_{j=1}^j A_{xj'jm} (\alpha_{j'i'ji} C_{aj} + \beta_{j'i'ji} C_{bj} + \gamma_{j'i'ji} C_{sj} + \eta_{j'i'ji} C_{oj}) \quad (3.3)$$

C_{aj} , C_{bj} , C_{sj} ve C_{oj} karbon havuzlarının doğrusal bir zaman artışı ile maksimum düzeyde karbon depolama kapasitesi kullanarak AÖ/AK tiplerine ait katsayılar ile çarpılmaktadır. Katsayıların belirlenmesi sürecinde 5 yıllık zaman dönemleri kullanılır. Modelde t'den T'ye katsayılar $\alpha_{j'i'j1}$, $\alpha_{j'i'j5}$, $\alpha_{j'i'j11}$, ... aralıklar ile karbon depolama kapasitesini arttırmaktadır. Orman AÖ/AK sınıfının değişmemesi durumunda net birincil üretim aracılığı ile büyüyen orman biyokütlesi, toprak ve döküntüdeki karbon tutulumunun maksimum düzeye ulaşmasını sağlayan katsayılar kullanılmaktadır. Modelde tanımlanan t ve T zamanlarına ait dört karbon havuzu tutulumları doğrusal bağıntı ile modellenmektedir (Conte ve ark. 2011; Nelson ve ark. 2009b; Smith ve ark. 2006).



Şekil 3.7. Zaman artışıyla orman AÖ/AK sınıfında topraküstü biyokütle katsayıları (Nelson ve ark. 2009)

T yılındaki toplam karbon depolama miktarı ve t yılındaki toplam karbon depolama kapasitesi arasındaki fark karbon tutulum ve salınım miktarını belirlemektedir.

$$\Delta C_{xtT} = C_{xT} - C_{xt} \quad (3.4)$$

$$\Delta C_{tT} = \sum_{x=1}^x \Delta C_{xtT} \quad (3.5)$$

ΔC_{xtT} , x parselinde t yılından T yılına tutulan karbon miktarını ifade etmektedir. Karbon tutulumu geçmiş ile güncel veya güncel ile gelecek zaman dilimi arasında modellenebilir. Bu araştırma kapsamında güncel ile gelecek arasındaki karbon tutulumu tahmin edilmiştir. ΔC_{tT} ise toplam karbon depolama değişimini göstermektedir. ΔC_{xtT} veya ΔC_{tT} tahmin edilmesinde sonuç pozitif veya negatif elde edilebilir. Eğer sonuç pozitif ise karbon tutulumu, eğer sonuç negatif ise karbon salınımı gerçekleşmektedir (Cairns ve ark. 2000; Conte ve ark. 2011).

Karasal ekosistemde karbon tutulumu veya salınımının gerçekleşmesi gelecek olası iklim değişikliğini etkileyen önemli bir faktördür. Bu doğrultuda iklim değişikliğinin şiddeti karbon depolama ve tutulumunun azalması ve onların zararları ile ilişkilidir. Karasal karbon salınımının artışı ile atmosferde biriken seragazi emisyonunun getirdiği potansiyel zarar, olası ekonomik zararları da beraberinde getirmektedir. InVEST modeli, pozitif veya negatif olarak elde edilen ΔC_{tT} doğrultusunda karbon tutulumu değerini meydana gelecek zarardan kaçınmanın maliyeti (Value of Avoided Damage-VAD) olarak ortaya koymaktadır.

$$VAD_{xtT} = \sum_{m=t}^{T-1} \frac{\Delta C_{x,m,m+1} SCC_{m+1}}{(1+r)^{m-t}} \quad (3.6)$$

VAD_{xT} , t'den T yılına x parselindeki karbon salınımindan kaynaklı oluşacak ekonomik zararın şimdiki değeridir. Birim alanda ΔCx_{tT} değeri negatif ise karbon salınımı gerçekleşerek ekonomik zarar meydana gelecektir. Bunun tam tersi ΔCx_{tT} değeri pozitif olduğunda ise birim alanda karbon tutulumu sağlanarak ekonomik zarardan kaçınma maliyeti söz konusu olmaktadır. SCC, antropojen etkiler ile atmosfere salınan bir ton karbonun ekonomik zarar maliyetidir. r ise ekonomik maliyetin T değerinden t zaman dilimine indirgeme oranı olarak ifade edilmektedir (Conte ve ark. 2011; Sharp ve ark. 2016).

InVEST Modeli, karbon depolama kapasitesini AÖ/AK grid verisi üzerinde haritalamaktadır. Bu nedenle AÖ/AK haritaları modelde en önemli girdilerden biridir. Karbon salınımindan kaynaklanan zarardan kaçınma maliyetinin haritalanması için güncel ve geleceğe ait AÖ/AK haritalarının üretilmesi gerekmektedir. Karbon tutulumu zaman içinde değişen peyzajın karbon miktarının farkını hesaplayarak karbonun her birimdeki ekonomik değerini tahmin etmektedir. Birim alanda karbonun ekonomik karşılığı değerlendirme olarak da ifade edilmektedir. InVEST modeli sağladığı birçok avantajın yanı sıra bazı temel belirsizlikleri de barındırmaktadır. Bu belirsizlikler model içerisinde belirli konulardaki sınırlamalardan kaynaklanmaktadır. Modelin temel sınırları, karbon döngüsünün basitleştirilmiş bir mekanizma ile sunulması, zaman içerisinde tutulan karbonun doğrusal değişim varsayımına dayanması ve potansiyel olarak indirgeme oranının geleceğe yönelik tahmin veya temel varsayımlara dayandırılmasıdır. Buna ek olarak karbon tutulumu için fotosentez oranı ve aktif toprak organizmalarının varlığı gibi hassas göstergeler modelde göz ardı edilmektedir (Sharp ve ark. 2016).

3.2.2. Arazi Örtüsü /Arazi Kullanımı (AÖ/AK)

Arazi örtüsündeki değişim ve dönüşümler ekosistem hizmetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda geçmiş, güncel ve gelecek peyzajlara yönelik öngülerde bulunarak koruma ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için gelecek arazi örtüsüne ait tahmin ve modellemelerde birçok açıdan yarar sağlamaktadır.

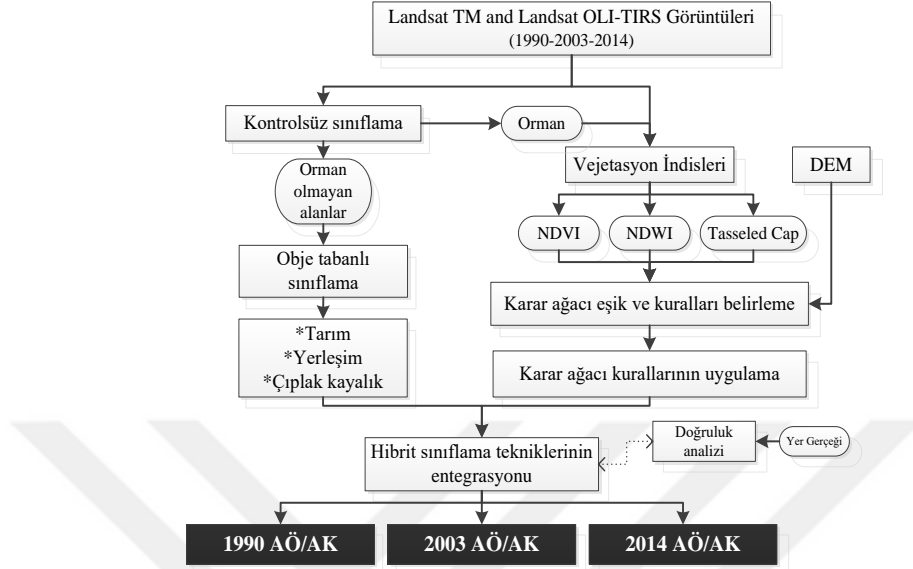
Artan teknolojik ilerleme daha karmaşık yapıdaki gelecek arazi kullanımlarına ait simülasyonları (benzetim) ve modellemeleri olanaklı hale getirmiştir (Liu, 2009). Günümüzde arazi kullanımlarına ilişkin modelleme çalışmalarında sıklıkla tercih edilen yöntemler; Hücresel Özişleme, Yapay Sinir Ağları, Markov Zincirleri, Lojistik Regresyon, Etmen Tabanlı Modeller ve SLEUTH Modelleridir (Bozkaya 2013; Çağlıyan ve Dağlı 2016; Cengiz ve Yılmaz 2016; Kumar ve ark 2014; Lantman ve ark 2011; Ludin ve ark 2011; Tanrıöver 2011; Berberoğlu, 2010).

Bu modellemelere ek olarak hibrit yaklaşımlar sıklıkla tercih edilmektedir. Hibrit yaklaşımların kullanıcıya sunduğu en önemli avantaj, yöntemlerin birbirlerinde olmayan özelliklerini tamamlayabilmesidir. Nitekim Markov Zinciri, komşu hücre etkisini dikkate almadığında konumsal modelleme olanağı sağlamamaktadır. Bu nedenle konumsal modelleme çalışmalarında Markov Zinciri tek başına kullanılmamaktadır (Arsanjani ve ark. 2013; Huang ve ark. 2015). Birbirleri ile çalışabilen hibrit entegrasyonlar; (i) Hücresel Özişleme-Markov Zinciri, (ii) Hücresel Özişleme-SLEUTH, (iii) Lojistik Regresyon-Markov Zinciri, (iv) Yapay Sinir Ağları-Markov Zinciri olmak üzere farklı uygulamalarda görmek mümkündür (Dadhich ve Hanaoka, 2010; Gonzales ve ark. 2002; Mishra ve Rai, 2016).

Bu tez çalışması kapsamında Yapay Sinir Ağları (YSA) modellerinden biri olan Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron-MLP) ve Markov Zinciri (MC) model entegrasyonu kullanılmıştır.

3.2.2.1. Arazi Örtüsü Sınıflama Haritaları (1990-2003-2014)

INVEST modeline ait karasal karbon tutulumunun hesaplanabilmesi için güncel ve gelecek arazi örtüsü haritaları temel girdileri oluşturmaktadır. Tezin bu bölümünde hibrit sınıflama yaklaşımı ile üretilen 1990-2003-2014 AÖ/AK haritalarının üretilmesinde izlenen yöntem Şekil 3.8'de aktarılmıştır.



Şekil 3.8. Çalışmadaki hibrit sınıflama yöntemi akış şeması

AÖ/AK haritalarının üretilmesi süreci temel olarak altı aşamadan oluşmaktadır; (i) orman ve orman olmayan alanların ayrıştırılması için K-Means kontrolsüz sınıflandırma, (ii) karar ağacı algoritmasında Landsat TM/OLI TIRS verisetinden yararlanarak yardımcı değişkenlerin üretilmesi, (iii) yardımcı değişkenlerin bant yansıma değerlerinin belirlenmesi, (iv) tarım, yerleşim ve çıplak kayalık alanlarının yüksek doğrulukla belirlenebilmesi için obje tabanlı sınıflama haritasının üretilmesi, (v) farklı sınıflama teknikleri ile üretilen sonuçların entegrasyonu ve (vi) doğruluk analizlerinin gerçekleştirilmesidir (Mirici ve ark. 2016).

Orman alanlarında yükseklik, ağaç kapalılık yüzdesi, tür çeşitliliği ve meşcere karışım oranları gibi yapısal özellikler arazi örtüsü sınıflama çalışmalarında hedef objelerin ayrıştırılabilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada geçmiş ve güncel AÖ/AK sınıflarının yüksek doğruluk ile haritalanması ve 2014 AÖ/AK EK-1 haritasının üretilmesi amacıyla hibrit sınıflama tekniği kullanılmıştır. Bu doğrultuda piksel ve obje tabanlı sınıflama entegrasyonundan yararlanılmıştır. Objeye tabanlı sınıflamada tarım alanları, çıplak kayalık ve yerleşim

sınıfları dikkate alınmıştır. Araştırmada kullanılan uydu görüntülerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Uydu görüntüleri metadata

Algılayıcı Tipi	Görüntü Tarihi	Eksen No	Satırlar	Bantlar	Radyometrik Çözünürlük	Mekansal Çözünürlük
TM	29.08.1990	175	33/34	1,2,3,4,5,7	8	30
TM	17.08.2003	175	33/34	1,2,3,4,5,7	8	30
OLI TIRS	13.09.2014	175	33/34	2,3,4,5,6,7	16	30

Araştırmada farklı üç tarihe ait arazi örtüsü sınıflamasında üç temel veri kaynağı kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Landsat görüntüleri USGS EROS açık erişim sisteminden elde edilmiştir. Arazi örtüsü sınıflandırma aşamasında veri işleme ve veri üretme aşamalarında ERDAS 9.1, IDRISI TerrSet, ENVI 4.7, eCognition Developer ve ArcGIS 10.3.1 yazılımlarından yararlanılmıştır. AÖ/AK haritaları için 30 m çözünürlük, WGS84 projeksiyonu ve UTM-36 kuzey yarımküre zonu esas alınmıştır.

Karar Ağacı Sınıflama Yöntemi

Karar ağacı sınıflama yöntemi, uydu görüntülerinin sınıflamasında karar ağaçları akış şemalarına benzeyen yapılarıyla birçok alanda kullanılan kontrollü sınıflama yöntemidir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). Yöntem uydu görüntülerinin sınıflanması aşamasında karmaşık yapısını çok aşamalı bir hale getirerek karar verme sürecini çözümleyen sınıflama tekniğidir (Barros ve ark. 2015; Pal ve Mather, 2001; Rokaach ve Maimon, 2008)

Çalışma kapsamında karar ağacı yönteminin tercih edilmesinin nedenleri; (i) ağaç yapılarının oluşturulmasında kullanılan kuralların sade ve anlaşılabilir olması, (ii) karışık meşcerelerde baskın ağaç örtüsünün spektral bant yansıma değerleri yardımı ile ayrıştırılabilmesi ve (iii) kuralların belirlenmesinde LANDSAT veriseti ve yardımcı değişkenlerinden yararlanılmasıdır.

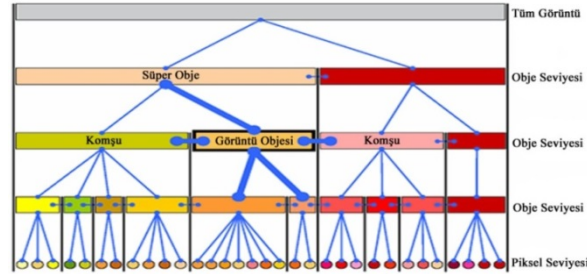
Karar ağacı yönteminde ağaç yapısı düğüm, dal ve yaprak olarak isimlendirilen üç temel kısımdan meydana gelir. Bu ağaç yapısında her bir öznitelik bir düğüm tarafından temsil edilir. Veri seti ağaç tarafından belirlenen karar iskeletine göre aşağı doğru hareket eder ve sıralı olarak bir yaprağa ulaşıncaya kadar alt bölümlere ayrılarak sınıflandırılır. Çalışmada kullanılan Landsat bantları ve karar ağacı yardımcı değişkenler Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Karar ağacı algoritmasında yardımcı değişkenleri

Yardımcı Değişkenler	Veri Tarihi	Metadata
Görünür Bandlar	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
NIR	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
SWIR	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
NDVI	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
NDWI	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
Tasseled Cap	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
Yükseklik	2014	USGS Earth Explorer
Orman var-yok	1990-2003-2014	Landsat 5 TM – Landsat 8 OLI TIRS
Meşcere Haritası	2002-2014/2014-2033	Adana Orman Bölge Müdürlüğü

Obje Tabanlı Sınıflama Yöntemi

Obje tabanlı sınıflama, piksel tabanlı sınıflama ile aynı sınıflayıcılar ile çalışan ancak sınıflamayı yalnızca yansıma değerleri ile değil, aynı zamanda form ve tekstür bilgilerine göre oluşturan segmentler üzerinden sınıflayan ileri düzey bir sınıflama tekniğidir (Walter, 2004; Wells, 2010). Obje tabanlı sınıflamanın piksel tabanlı sınıflamaya göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu üstünlük istenilen hassasiyette oluşturulan segmentasyon işlemi aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Segmentasyon işlemi milyonlarca piksel yerine birbirine benzer özellik gösteren ve komşu konumda bulunan pikselleri gruplandırır (Şekil 3.9). Bu grupta segmentlerin kendi içindeki heterojenliği azaltılır (Jensen 1996). Bu sayede işlem yükünün azaltılmasının yanı sıra segmentlerde manuel düzeltme işlemi yapılabilmektedir.

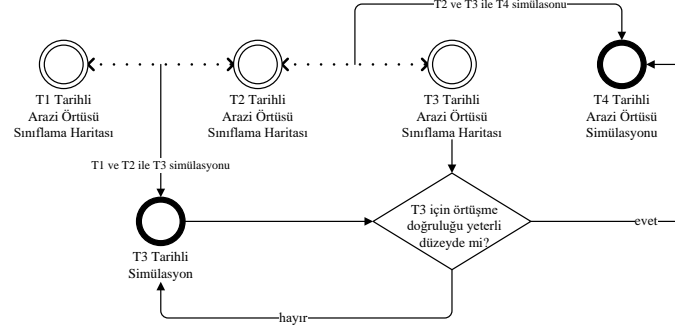


Şekil 3.9. Obje tabanlı sınıflama hiyerarşisi prensibi

Tarım sınıflamalarının yüksek doğrulukta üretilebilmesi amacı ile ilgili yıla ait birden fazla uydu görüntüsü ile obje tabanlı sınıflama uygulanmıştır. Bu doğrultuda tarımsal ürün deseni değişimini dikkate alan 2014 yılı için 4 farklı tarihli görüntü (24 Mart 2014-28 Haziran 2014-31 Ağustos 2014-13 Ağustos 2014), 2003 yılı için 4 farklı görüntü (29 Nisan 2003-30 Haziran 2003-17 Ağustos 2003-18 Eylül 2003) ve 1990 yılı için bir uydu görüntüsü (29 Ağustos 1990) ile tarım alanlarının sınıflama işlemi gerçekleştirilmiştir.

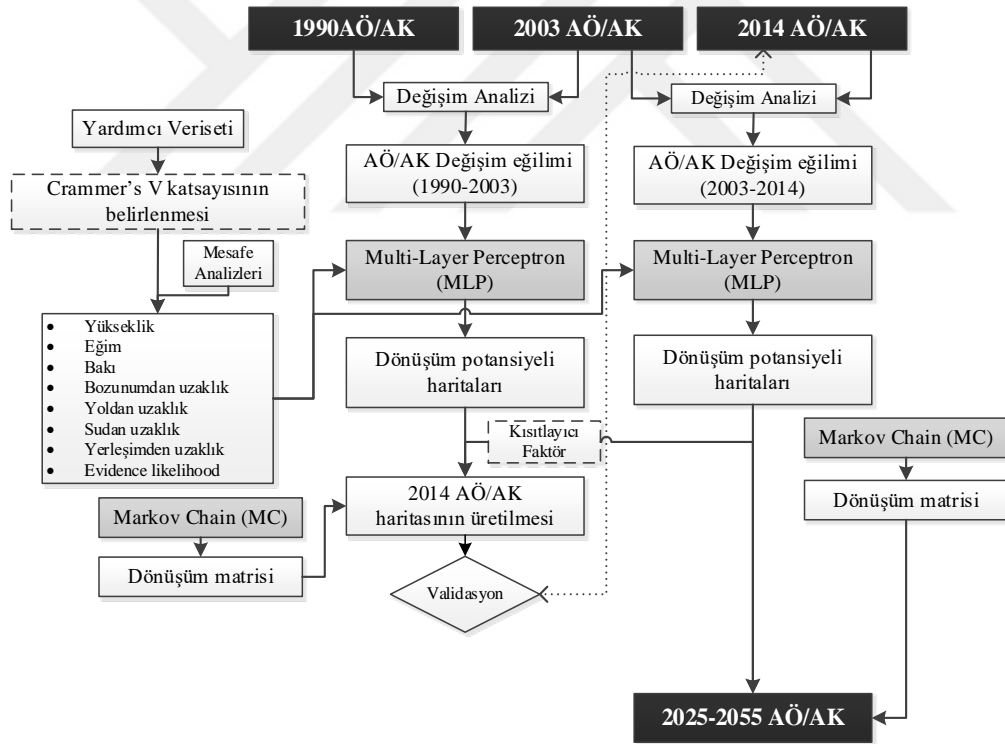
3.2.2.2. Gelecek Arazi Örtüsü Tahmini (2025-2055)

Gelecek arazi örtüsünün üretilmesinde geçmiş AÖ/AK haritalarından yararlanılır. Modellemede ilk aşama T_1 ve T_2 tarihli AÖ/AK haritalarının üretilmesi ve ikinci aşamada üretilen haritalardan aracılığı ile T_3 tarihli AÖ/AK haritası modellenir. Modellenen T_3 ve gerçek zamanlı (gözlenen) T_3 sınıflaması birbiri ile karşılaştırılmaktadır. Kappa değerlendirme indeksi (Kappa Index of Agreement-KIA) sonucunda elde edilen örtüşme düzeyi 0.75 oranından düşük ise T_3 arazi örtüsüne ilişkin kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. KIA sonucu uygun doğruluk düzeyine sahip ise hedeflenen T_4 tarihli arazi örtüsü tahmin edilmektedir. T_4 tarihli gelecek arazi örtüsü geçmişe ait T_1 , T_2 tarihli ve güncel T_3 tarihli arazi örtüsü görüntüleri yardımı ile modellenmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. AÖ/AK sınıflama haritaları ve simülasyon ilişkisi

Arazi örtüsü değişim analizi ve gelecek arazi örtüsü modelleme çalışmaları IDRISI TerrSet yazılımında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Çalışmadaki MLP-MC yöntem akış şeması

Gelecek arazi örtüsü modelleme sürecinde geçmiş tarihli 1990, 2003 ve güncel tarihli 2014 yıllarına ait AÖ/AK haritaları kullanılmıştır. İlk aşamada 1990 ve 2003 tarihli arazi örtüsü haritaları ile 2014 arazi örtüsü haritası tahmin edilmiştir. Gerçek zamanlı 2014 AÖ/AK ve modellenen 2014 AÖ/AK arasında örtüşme doğruluğuna ilişkin KIA katsayısı belirlenmiştir (Şekil 3.11). 2003-2014 yıllarına ait arazi örtüsü haritaları kullanılarak validasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Değişim Analizi

Değişim analizi, arazinin sahip olduğu özneliğin farklı zamanlarda gözlemlenerek farklılıkların ortaya konulması işlemidir. Günümüzde en sık tercih edilen değişim analizlerinden biri sınıflandırma sonrası değişim analizidir. Sınıflama sonrası değişim analizi, farklı tarihlere sahip görüntülerin ayrı ayrı sınıflandırılması sonrası çapraz sınıflama ile değişimin ortaya konulması işlemidir. Değişimde “nereden nereye” bilgisinin ortaya konulması bakımından avantaj sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında 1990, 2003 ve 2014 yıllarına ait hibrit sınıflandırma yöntemine göre üretilen AÖ/AK haritaları sınıflandırma sonrası değişim analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Markov Zinciri

İlerleyen zaman sürecinde önceden kestirilemeyecek durumlar, stokastik (rastgele) süreç olarak isimlendirilmektedir. Bir stokastik süreç $X=(X_t:t \in T)$ kümesinden meydana gelmektedir. Burada T; zamanı göstermektedir. Böylece X_t bir sistemin t zamandaki durumunu ifade etmektedir. X'in alabileceği tüm durumların oluşturduğu (E) kümesi X'in durum uzayını gösterir. Eğer durum uzayında; $E_i \rightarrow E_j$ durumuna geçmiş ise sistem geçişi gerçekleştirmiştir. Bir Markov Zinciri (Markov Chain-MC) (Bhat, 1972; Gihman, 1975; Kemeny ve Snell, 1976; Yavuz, 1992);

$X=\{X_n; n \in (0,1,2,\dots)$ ise;

$$P(X_{n+1} = j | X_0 = a, X_1 = b \dots, X_n = i) \quad (3.7)$$

$$P(X_{n+1} = j | X_n = i)$$

Eşitlik 3.7 ile ifade edilen Markov özelliğine sahip bir stokastik süreçtir. i durumundaki bir sürecin bir dönem sonra j durumuna dönüşmesi ihtimali;

$$P(X_n = j | X_{n-1} = i) = P_{ij} \quad (3.8)$$

Satırları P_{ij} olasılıklarından oluşan matrise “geçiş matrisi” denir. Geçiş matrisi, Markov Zincirinin istatistiksel yapısını açıklayan en önemli veridir.

$$0 < P_{ij} < 1 \text{ ve } \sum_j P_{ij} = 1, (i = 1,2,3 \dots n) \quad (3.9)$$

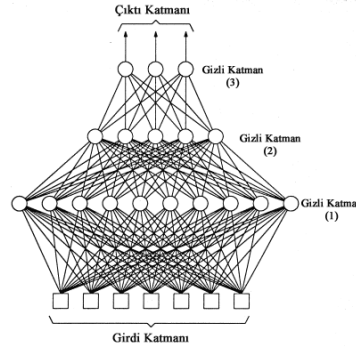
MC, belirli zaman periyodları arasındaki arazi kullanım sınıflarındaki değişimden yararlanarak, gelecek arazi kullanım kategorilerinin geçiş olasılıklarını belirlemektedir. Zincir arazi kullanım değişimine neden olan değişkenleri dikkate almadığından gelecek simülasyonlarında tek başına etkili değildir. Bu nedenle MC ile entegre çalışan farklı algoritmalar ile çevresel değişkenler modelleme sürecine dahil edilmektedir (Berberoğlu ve ark. 2016; Cengiz ve Yılmaz, 2016; Öztürk, 2013). Bu araştırmada MC ve yapay sinir ağları entegrasyonundan yararlanılmıştır.

Yapay Sinir Ağları ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyni ve nöronların çalışma prensibini esas alarak UA ve sınıflama çalışmalarında kullanılan algoritmalarından biridir.

Bir sinir ağı, n adet değişkenden oluşan $x_n = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ gözlemlerini sınıflandırabilir. Bu işlem için girdi, ara ve çıktı katmanlarından yararlanılmaktadır. Girdi katmanı ağı aktarılan bilgilerin derlendiği aşamadır. Sisteme dahil edilen

görüntüler girdi katmanında herhangi bir işlem yapılmadan gizli katmana aktarılır. Sayısı kullanıcı tarafından belirlenen gizli katmanda bilgi işleme süreci gerçekleşmektedir. Bilgi işleme süreci, bilgilerin ağırlık değerleri kullanılarak çıktıya dönüştürmesi işlemidir. Girdiler için doğru çıktılar üretilebilmesi yalnızca ağırlıkların doğru tespit edilmesine bağlıdır. Bu doğrultuda doğru ağırlıkların tespit edilebilmesi işlemi, ağırlık eğitimi ile sağlanmaktadır. Eğitim sırasında her öğrenme döngüsünde ağırlıklar yeniden biçimlenerek öğrenme kurallarına göre ağırlıkların revize etmektedir. Bu işlemler ağırlık eğitimi setindeki örneklerin tamamı için doğru çıktı üretinceye kadar tekrarlanmaktadır (Şekil 3.12). Hedeflenen tahmine ulaşmak için eğitim verisi problem öğrenmekte, test verisi ise yöntemin geçerliliğini test etmektedir. Eğer ağırlık eğitimi setindeki örneklere doğru cevaplar verirse ağırlık eğitimi setinde nitelendirilebilir (Öztemel, 2012; Tanrıöver, 2011). YSA'nın günümüzde en yaygın olarak kullanılan modeli Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron-MLP) ağlarıdır. MLP sınıflayıcısı, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde sıklıkla tercih edilen ve UA verilerinin yorumlanmasında kullanılan YSA tabanlı modellerden biridir (Berberoğlu, 2000; Civco, 1993).



Şekil 3.12. MLP yapısının genel mimarisi

MLP ağının UA, sınıflama ve tanıma amacıyla yaygın olarak kullanılıyor olmasına rağmen algoritmanın en temel eksikliği istenilen ağırlık değerlerinin

bilinmemesidir (Sağırolu ve ark. 2003). MLP ağının koşturulmasında dikkat edilecek önemli göstergeler; (i) ağın eğitilme döngü sayısı; (ii) momentum katsayısının belirlenmesi, (iii) öğrenme katsayısının belirlenmesi, (iv) hata miktarının gözlenmesi, (v) ağ performansının ölçülmesi ve (vi) ağın ezberlenme durumudur.

Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) – Markov Zinciri (MC) Entegrasyonu

Çok Katmanlı Algılayıcı doğrusal olmayan problemlerin çözümünde en sık kullanılan YSA modellerinden biridir. MLP-MC entegrasyonu, girdi, ara katmanlar ve çıktı bölümünden oluşan ve geleceğe yönelik tahmin üreten modeldir (Bozkaya, 2013; Çağlıyan ve Dağlı, 2016). LCM, MLP ile MC modellerinin entegrasyonu sağlamaktadır. Geleceğe yönelik arazi örtüsü modellemesi için aşamalar; (i) geçmiş sınıflama haritalarına ait değişim analizinin ortaya konulması, (ii) dönüşüm potansiyellerinin modellenmesi ve (iii) hedeflenen gelecek arazi örtüsünün tahmin edilmesidir. İlk aşamada MLP sinir ağları yaklaşımı ile dönüşüm potansiyelleri belirlenmektedir. Dönüşüm modeli ise alt-model değişkenlerinin üretilmesi, etkin (çevresel) faktörlerin test edilmesi ve dönüşüm potansiyellerinin tahmin edilmesi aşamalarından meydana gelmektedir. MLP işlem sürecinde üretilen dönüşüm potansiyelleri MC aracılığı ile modellenmektedir (Baysal, 2013).

3.2.3. Karbon Bileşenleri

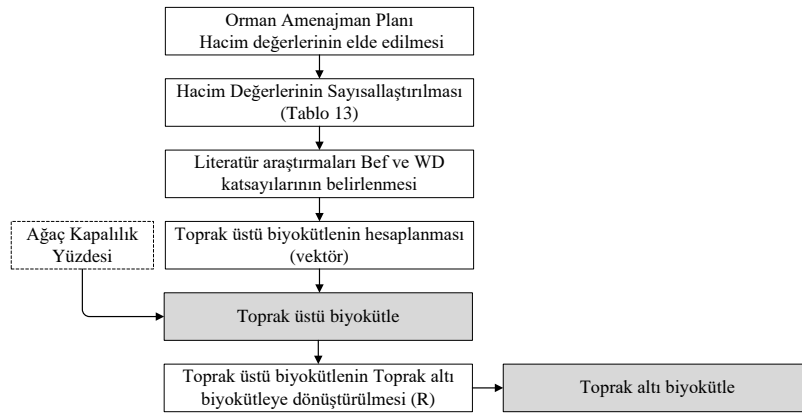
3.2.3.1. Toprak Üstü Biyokütle Karbonu

BMİDÇS ve Kyoto Protokolüne taraf olan ülkelerindeki orman ekosistemde bulunan orman biyokütlesini ve bunların değişimlerini ortaya koymak için standart bir yöntem rehberi olan GPG-LULUCF kullanılmaktadır. Bu doğrultuda tez kapsamında uluslararası çalışmalarda ve IPCC Ulusal Envanter Raporları'nda esas alınan GPG-LULUCF biyokütle tahmin yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin temel verisi olan meşçere ağaç servet değerleri Adana Orman Bölge Müdürlüğü'nden

temin edilmiştir. Biyokütle tahmininde kullanılan Growing Stock (GS) verisi ülkemizde ağaç servet verisi olarak ölçülmektedir. Ağaç serveti (hacmi), ormanın ölçüldüğü anda yaşayan ve üretim yapan, 8 cm ve üzeri gövdelerin m³ cinsinden dikili kabuklu silindirik gövde hacimlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir (OGM, 2015).

Canlı biyokütle temel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar toprak üstü ve toprak altı biyokütledir. Toprak üstü biyokütle; toprak üstündeki gövde, kütük, dallar, kabuk, tohum ve dallardır. Toprak altı biyokütle ise; toprak altındaki kökleri kapsamaktadır (IPCC, 2013). Bu tez çalışması kapsamında orman biyokütlesi topraküstü ve toprak altı biyokütle olmak üzere iki bölümde tahmin edilmiştir.

Toprak üstü ve toprak altı biyokütlesinin tahmin edilmesi sürecinde (Asan., 1995; Brown, 1997; Deware ve Cannell, 1992; FRA, 2010; Gülsunar, 2011; IPCC, 2003; Levy, 2004; Polat ve ark. 2012; Tobin ve Nieuwenhuis, 2007; Tolunay, 2009) tarafından orman alanlarındaki karbon birikimi üzerine yapılan çalışmalar esas alınmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Çalışmada toprak üstü ve toprak altı biyokütle hesaplama yöntem akışı

Bu yaklaşım genelinde öncelikle toprak üstündeki biyokütle elde edilmekte ve toprak üstü biyokütleyle bağlı olarak toprak altı biyokütle tahmin edilmektedir.

Araştırma alanında orman biyokütlesinin tahminde Eşitlik 3.10 kullanılmıştır (AFOLU, 2006; Brown, 1997; FRA, 2015; GEF, 2012):

$$AGB \text{ (Above Ground Biomass)} = GS * WD * BEF \quad (3.10)$$

AGB, toprak üstü biyokütlenin hacim-servet değeri (*GS*) (m^3ha^{-1}), fırın kurusu ağırlık (*Wood Denstiy-WD*) (Mg/m^3), *BEF* göstergeleri kullanılmıştır. *BEF* biyokütle genişleme faktörüdür (*Biomass Expansion Factos*). *BEF* katsayısının belirlenmesi için toplam toprak üstü biyokütlenin (gövde ve dal kütlelerinin tamamı) yalnızca gövdeden çıkan kereste kütlelerine oranlanması ile elde edilmektedir.

Saranpaää (2003) fırın kurusu ağırlığı (*WD*), yaş haldeki bir odunun birim hacmindeki fırın kurusu odun kütleleri olarak tarif etmektedir. Bu çalışmada, çalışma alanında bulunan bitki türleri hakkında literatür araştırması yapılmış ve benzer coğrafi alanlardaki örnek çalışmalardan yararlanılarak *WD* ve *BEF* katsayıları ağaç türlerine özgü spesifik düzeyde kullanılmıştır. Biyokütle hesaplama işlemlerinde yararlanılan araştırmalar ve katsayılar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışma alanında bulunan ağaç türleri *BEF* ve *WD* katsayıları

Ağaç Türleri	BEF	Kaynak	WD	Kaynak
Abies sp.	1.350	Karabürk (2011)	0.350	Karabürk (2011)
Juniperus exelsa	1.195	Çömez (2011)	0.510	As ve ark. (2001)
Decidious	1.239	Asan (2006)	0.550	Asan (2006)
Fagus orientalis	1.576	Makineci ve ark. (2011)	0.530	Makineci ve ark. (2011)
Populus sp.	1.239	Asan (2006)	0.550	Asan (2006)
Quercus sp.	1.366	Makineci ve ark. (2011)	0.570	Makineci ve ark. (2011)
Cedrus libani	1.337	Ülküdür (2010)	0.430	Ülküdür (2010)
Pinus brutia	1.384	Ünsal (2007)	0.478	Ünsal (2007)
Pinus nigra	1.180	Çakıl (2008)	0.470	Çakıl (2008)
Pinus pinea	1.222	Asan (2006)	0.431	Asan (2006)
Pinus pineaster	1.222	Asan (2006)	0.431	Asan (2006)
Pinus slyvestris	1.266	Çömez (2010)	0.426	Çömez (2010)
Platanus sp.	1.239	Asan (2006)	0.550	Asan (2006)

3.2.3.2. Toprak Altı Biyokütle Karbonu

Toprak üstü biyokütlenin toprak altı biyokütleyle dönüştürülmesi için R katsayısı (Root/Shoot Ratios) kullanılmaktadır (Eşitlik 3.11).

$$BGB(\text{Below Ground Biomass}) = GS * WD * BEF * R \quad (3.11)$$

R katsayısı sayesinde toprak üstü biyokütleden, toprak altı biyokütle elde edilmektedir (Çömez, 2012; FRA, 2010; Levy, 2004). Farklı çalışmaların her birinde arazi çalışması yapılarak ağaç ve kök sökme gibi işlemleri yapılması, ağırlıkların ölçülmesi ve oranlanması gerçekleşmeyeceğinden bu konuda daha önceden yapılmış araştırma sonuçlarından yararlanılmaktadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Toprak üstü biyokütleyi toprak altı biyokütleyle çevirme faktörü (IPCC,2003)

Tür Sınıfı	Topraküstü Biyokütle (Mg ha ⁻¹)	R
İbrelili Türler	<50	0.46
	50-150	0.32
	>150	0.23
Yapraklı Türler	<75	0.43
	75-150	0.26
	>150	0.24

Ağaç hacim verilerin sayısal formatta bulunmaması nedeniyle meşçere ağaç hacim değerlerinin tablolardan sayısallaştırılması sağlanmıştır. Çalışmanın hassasiyetini arttırmak amacıyla AGB sonuç haritası ile Ağaç Kapalılık Yüzdesi haritası ile entegre edilmiştir. Böylelikle poligona ait elde edilen biyokütle değerleri için yersel değişkenlik sağlanmıştır. Orman alanlarına ilişkin konumsal karbon depolarının haritalanması için son aşama tahmin edilen biyokütlenin karbon fraksiyonuna dönüştürülmesidir (AFOLU, 2006; Brown, 1997; FRA, 2015; GEF, 2012):

$$CC_{TLB} = (AGB + BGB) * CF \quad (3.12)$$

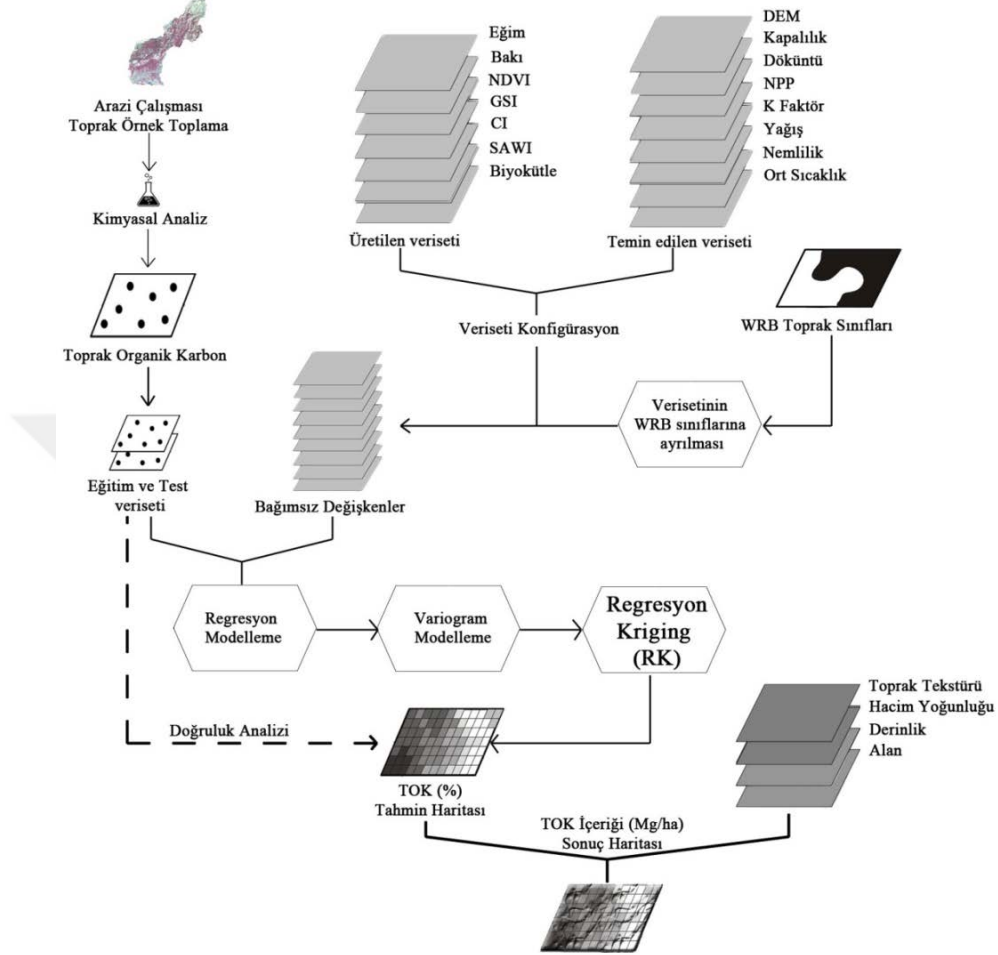
Dönüşüm sürecinde CC_{TLB} toplam yaşayan biyokütle karbon içeriğini (Mg) ifade ederken dönüşüm sürecinde toprak üstü biyokütle ve toprak altı biyokütle sonuçları karbon fraksiyonu (CF) ile çapılmaktadır. Bu çalışmada AFOLU (2006), FAO (1997) ve GEF (2012) çalışmalarında kullanılan iğne yapraklı ormanlar için 0.48 ve geniş yapraklı türler için 0.51 katsayıları kullanılmıştır.

3.2.3.3. Toprak Organik Karbonu (TOK)

Araştırmanın bu bölümünde karasal karbon depolama havuzlarından biri olan 0-30 cm derinliğindeki toprakların güncel TOK (%) ve TOK içeriği (karbon depolama) haritaları üretilmiştir. Bu doğrultuda son yıllarda öne çıkan jeostatistiksel yaklaşımlardan biri olan Regresyon Kriging (RK) yöntemi bu tez çalışmasında uygulanmıştır (Şekil 3.14).

RK yöntemine ait temel gereksinimlerden biri bağımlı değişken yani toprak örneklerdir. Bu doğrultuda çalışma alanına ait 0-30 cm derinlikten 186 toprak örneği arazi çalışması ile toplanmıştır. Buna ek olarak geçmiş yıllarda Adana OBM tarafından gerçekleştirilen arazi çalışmaları doğrultusunda toplanan örneklerden de yararlanılmıştır.

Arazi çalışmalarından elde edilen toprak örneklerinin TOK değerini belirlemek için kimyasal analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları RK ile TOK tahmininde girdi olarak kullanılmıştır TOK içeriğinin hesaplanması aşamasında TOK değerinin birim alanda ağırlığa dönüştürülmesi sağlanmıştır. Dönüşüm işleminde EU JRC tarafından uygulanan Soil Organic Carbon Computation yöntemi esas alınmıştır.



Şekil 3.14. Çalışmadaki Regresyon Kriging (RK) yöntemi

RK yönteminde diğer önemli girdi veri seti tahmin edici değişkenlerdir. Tahmin edici değişkenler pek çok çalışmada yardımcı değişkenler nitelemesiyle kullanılmaktadır. Yardımcı değişkenlerin belirlenmesinde karasal ekosistemde karbon mekanizmasını etkileyen veriler ve bu konudaki literatür çalışmaları esas alınmıştır. RK analizi için açık kod sistemi ile çalışan R Studio, yardımcı değişkenlerin üretilmesinde ise ArcGIS 10.3.1 ve ERDAS yazılımları kullanılmıştır.

RK Yöntemi Toprak Örnekleri

Çevresel değişkenlerin alansal dağılımını belirlemek için yeterli sayıda alınmış ve alanda homojen olarak dağılan örneklere ihtiyaç duyulmaktadır. Arazi çalışmalarının iki temel amacı bulunmaktadır. 0-30 cm derinlikten toprak örneklerinin alınması ve güncel arazi örtüsü sınıflamasına ilişkin yer gerçeği verisinin toplanmasıdır.

Bu kapsamda öncelikle arazi çalışması gerçekleştirilmeden önce Adana OBM tarafından ağaçlandırma ve erozyonla mücadele kapsamında toplamış ve Walkley Black yöntemine göre analiz edilmiş 335 toprak örneğine ait toprak karbon değerleri elde edilmiştir. 2010-2014 dönemine ait koordinatlı bu örneklerin konumsal dağılımı haritanmıştır. RK yönteminin uygulanabilirliği açısından homojen bir dağılımın gerçekleşebilmesi için eksik bölgeler belirlenmiştir. Bu doğrultuda ızgara sisteme göre 6 km x 6 km ızgara sistemi oluşturulmuştur. Kurumdan elde edilen veriler, arazi çalışması ile desteklenerek toplamda 521 adet toprak örneği RK yönteminde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Buna ek olarak arazi çalışmasında ulaşılmaması hedeflenen konumların belirlenmesinde yola uzaklık, topografya, bitki türlerinin dağılımı ve ağaç kapalılığına dikkate alınmıştır.

Konumsal Enterpolasyon ve Regresyon Kriging (RK)

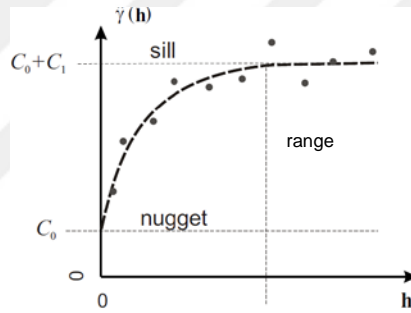
Konumsal enterpolasyon ve kriging yöntemi Krige ve Sichel (1951) tarafından madencilik alanında geliştirilmiştir. Bu teorinin geliştirilmesi ve doğrusal jeostatistikte tüm uygulama alanlarında kullanılabilirliği ise Matheron (1963) tarafından sağlanmıştır (Cressie, 1990).

Gözlem değerlerine dayanarak hesaplanan semivariogram deneysel semivariogram olarak isimlendirilir (Cressie, 1990; Olea, 1977). Örnek sayısı arttıkça semivaryans değerlerini yorumlamak güçleşir. Bu nedenle uygun sınıf aralıkları yardımıyla deneysel variogram oluşturulmaktadır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(z(s_i) - z(s_i + h))^2] \quad (3.13)$$

Eşitlikte s_i örnek noktalarını, $z(s_i)$ örnek değerlerini ve $N(h)$ h uzaklığına denk gelen örnek çifti sayısını ifade etmektedir (Eşitlik 3.13).

DeneySEL variogram noktaları için bir fonksiyon uyarlanarak semivariogram modeli belirlenmektedir. Variogram modellerine uygulanan Gaussian, üssel, küresel, lineer ve logaritmik variogram modelleri en yaygın kullanılan modellerdir. Hedef değişkenin deneySEL variogram sonrasında uygun bir modelle oluşturulduğu sonuç variogramına ait parametreler Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Variogram modeli ve parametreleri

C_0 (nugget effect), tanımlanamayan varyasyonu ifade eder. Kısa mesafedeki ani değişimleri gösteren bölgesel bir değişken olan C_0 , veriseti yapısı ve çözünürlük gibi etkenler sonucu oluşmaktadır. C_0 kontrolsüz etki varyansı olarak da ifade edilmektedir. $C_0 + C_1$ (sill) variogramın düşey ölçeği olup, yaklaşık örnek varyansına eşittir. Range değeri variogramın yatay uzunluğudur. Bu uzunluk veriler arası ilişki için eşik değeridir. Kovaryans değeri bu uzunluktan sonra sabit kalarak, herhangi bir değişim göstermemektedir.

Variogram modeli çıktıları kriging yönteminde büyük etkiye sahiptir. Çünkü kriging yönteminin en önemli bileşeni olan ağırlık faktörleri variogram modelinin fonksiyonudur. Ağırlıklar, örnek çiftlerine ait doğrusal denklem sistemi ve matris

çözümleri ile üretilmektedir. Enterpolasyonun yansızlık içermesi için tüm ağırlık toplamlarının 1'e eşit olması koşulu bulunmaktadır. Kriging'in yaygın modeli Ordinary Kriging (Hengl, 2007):

$$z_{OK} = \sum_{i=1}^n w_i(s_0) \cdot z(s_i) = \lambda_0 \cdot z \quad (3.14)$$

w_i kriging ağırlık vektörü, z birincil konumdaki n gözlem vektördür. Bu doğrultuda Kriging ağırlıkları ise variogram modelinin doğrudan bir fonksiyonudur. Girdi verisetine bağlı olarak üretilen istatistiksel modeller; (i) kriging, (ii) çevresel korelasyon, (iii) Bayes tabanlı model ve (iv) hibrit modellerdir. Hibrit modeller arasında öne çıkan uygulamalardan biri Regresyon Kriging (RK) uygulamalarıdır.

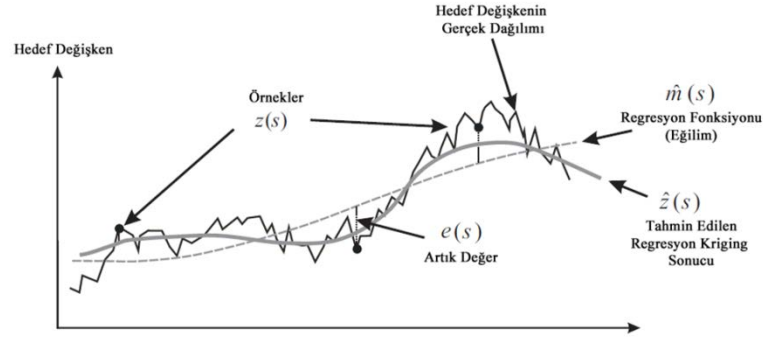
RK yöntemi ilk olarak 1987 yılında Ahmed ve Marsily (1987) tarafından "Doğrusal Regresyon ile Kriging Birleşimi" ismi ile uygulanmıştır. Odeh ve ark. (1995) RK yönteminin diğer kriging yöntemlerine göre üstünlüğünü ortaya koymuş ve kullanılan yöntem Regresyon Kriging ismi ile yayınlanmıştır. RK yönteminin yaygınlaştırılması ve uygulamalarının artması süreci ise Tomislav ve ark. (2007)'nin ortaya koyduğu çalışmayla gerçekleşmiştir. RK yönteminin kökeni Matheron (1969) tarafından tanımlanan konumsal tahmin tekniklerinden olan konumsal korelasyon ve yardımcı değişken kullanan Evrensel Kriging (Universal Kriging-UK) yöntemine dayanmaktadır (Hengl, 2004; Meng ve ark. 2013).

Geçmişte yalnızca konumlardan alınan örnekler kullanılmıştır, ancak teknolojinin gelişmesi ve istatistiksel tekniklerin kullanımının yaygınlaşması ile yardımcı değişkenlerin mekânsal enterpolasyonlarda ortak değişken olarak kullanılması sağlanmıştır (Odeh ve ark. 1995; Hengl ve ark. 2007a; Hengl ve ark. 2007b; Kumar, 2009; Malone, 2013; Adhikari ve ark. 2014; Omuto, 2015).

Regresyon Kriging deterministik ve stokastik süreçlerinin birleşiminden meydana gelen hibrit bir yaklaşım olarak ifade edilebilir. Hedef değişkenin gözleminin oluşturulması z ile ifade edilen $z(s_1), z(s_2), \dots, z(s_n)$, $s_i = (x_i, y_i)$ coğrafi koordinatlarıdır. Konumsal model tahmininde kullanılan fonksiyon (Hengl, 2007):

$$Z(s_0) = E \{ Z | Z(s_i), q_k(s_0), \gamma(h), s \in \mathbb{A} \} \quad (3.15)$$

$Z(s_i)$ girdi nokta veriseti, $q_k(s_0)$ deterministik tahmin ediciler, $\gamma(h)$ mekânsal otokorelasyon yapısını tanımlayan kovaryans modelini ve \mathbb{A} ilgili coğrafi konumu ifade etmektedir. Konumsal tahmin modellerinde çoğu jeostatistik bilimcisi yardımcı değişkenler için yalnızca bir en iyi doğrusal yansızlık tahmini (Best Linear Unbiased Prediction-BLUP) olduğunu varsaymaktadır. Matheron (1969) toprak özelliklerine ait gözlem verilerinden yola çıkarak ulaşılmayan konumların değerinin deterministik ve stokastik bileşenlerin toplamı olarak modellenebileceğini öne sürmüştür.



Şekil 3.16. RK şeması (Hengl, 2007)

$$\begin{aligned} z(s_0) &= m(s_0) + e(s_0) \\ &= \sum_{k=0}^p \beta_k \cdot q_k(s_0) + \sum_{i=1}^n \lambda_i e(s_i) \end{aligned} \quad (3.16)$$

$m(s_0)$ deterministik bölümün modele uydurulması, $e(s_0)$ artık değerlerin enterpolasyonu, β_k deterministik modelin katsayılarını, λ_i artık değerlerin

konumsal korelasyonu tarafından belirlenen kriging ağırlıkları ve $e(s_i)$ i noktasındaki artık değerdir. Regresyon katsayısı olan β_k 'nın en doğru tahmini üretebilmesi için genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemi (Generalized Least Squaresi-GLS) genel olarak kullanılan yöntemlerden biridir. RK çerçevesinde regresyon katsayıları ve regresyon artıkları GLS yöntemi ile belirlenmiştir (Hengl, 2007). GLS yöntemi hataların kestiriminde kullanılan kovaryans fonksiyonunun daha güçlü bir tahmin üretmesine katkıda bulunmaktadır (Çoban ve Tütmez, 2015).

$$\beta_{GLS} = (q^T \cdot C^{-1} \cdot q)^{-1} q^T \cdot C^{-1} \cdot z \quad (3.17)$$

β_{GLS} tahmin edilen regresyon katsayılarının vektörleri, C artık değerlerin kovaryans matrisi, q örnek noktalarındaki tahmin edicilerin matrisi ve z hedef değişkenin ölçülmüş vektörüdür. Regresyon katsayılarının GLS tahmini, coğrafi olarak ağırlıklandırılmış regresyonun özel durumlarıdır. GLS aracılığı ile ağırlıklar, regresyon artıkları arasındaki mekânsal otokorelasyonunu objektif olarak belirlemektedir (Hengl, 2007). Stepwise regresyon analizinin uygulanması sonucunda örnek noktalarında gerçek değerler ile tahmin edilen değer arasındaki fark artık değeri (residual) vermektedir. Her toprak örneği noktası için bir artık değer hesaplanmaktadır.

$$z_{RK}(s_0) = (q^T \cdot \beta_{GLS}) + \lambda^T \cdot (z - q \cdot \beta_{GLS}) \quad (3.18)$$

$z(s_0)$, s_0 noktasındaki tahmin değeri, q^T tahmin edici değişkenlerin vektörü, λ^T artıkların enterpolasyonunda kullanılan kriging ağırlıklarının vektörüdür (Hengl, 2007). RK yönteminin uygulanmasında deterministik süreç için regresyon analizi sonuçları üretilmiş, ardından stokastik süreç doğrultusunda GLS yöntemine göre tahmin edilen artık değerlerin enterpolasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve regresyon tahmin sonuçları birbiri ile toplanmıştır. R yazılımında kullanılan RK örnek kod:

```
> rk.krigres.train = krige(train$residuals~1, data= train, newdata  
= grid, model= vgm(psill=5, "Exp", range=1000, nugget=1)  
> grid$rk.pred = rk.krigres.train$var1.pred + grid$stepwise.pred
```

RK yönteminde kritik noktalardan biri regresyon analizi aşamasıdır. Model deterministik yöntemlerden biri olan regresyon modelinin kurulmasını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar ise stokastik yöntemlerin sağladığı konumsal otokorelasyon modeli sürecine dahil edilmektedir. Hibrit yöntemin deterministik kısmını oluşturan bu bölümde pek çok araştırmada doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon (MLR), lojistik regresyon ve Cubist modeli ile çalıştırılan regresyon türleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada tahmin edici değişkenlerin birden fazla olması sebebiyle MLR analizi ve sonrasında stepwise regresyon analizi uygulanmıştır. Çalışma alanına ilişkin tek bir MLR analizi ve kriging işlemi sonucuna göre TOK haritasını tahmin edilmesi yerine WRB Toprak Sınıfları haritası kullanılarak ayrı ayrı her bir toprak sınıfı için RK yöntemi koşturulmuştur.

RK Yöntemi Bağımsız (Yardımcı) Değişkenler

RK yönteminde regresyon analizinin uygulanması için bağımsız değişkenlerin tanımlanması gerekmektedir. Regresyon analizinde bağımlı değişken toprak örneklerinden kimyasal analiz ile elde edilen TOK örnekleri iken, bağımsız değişkenler bu bölümde açıklanan tahmin edici/yardımcı değişkenlerdir.

Yardımcı değişkenlerin belirlenmesinde toprak karbonunu etkileyen faktör ve havuzlar dikkate alınmıştır. Bu bağlamda toprak üstü karbon havuzlarından biri olan bitki örtüsüne ait biyokütle, ağaç kapallılık yüzdesi, döküntü, NPP verileri kullanılırken, bitki örtüsü ve toprağı etkileyen ortalama sıcaklık, yağış ve nem gibi iklim değişkenleri kullanılmıştır. Buna ek olarak Landsat OLI/TIRS verilerinden elde edilen ve üretilen, NDVI, GSI, CI ve SAWI indeksleri üretilmiş, topografik etkiler de göz önüne alınarak DEM, eğim, bakı ve K faktör verilerinden

yararlanılmıştır. Regresyon analizinde kullanılan yardımcı değişkenler Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. RK yöntemi yardımcı değişkenler

Parametre	Yıl	Metadata	Çöz.
DEM (m)	2014	USGS Earth Explorer	30
Eğim (%)	2014	DEM	30
Bakı	2014	DEM	30
Ağaç Kapalılık Yüzdesi (%)	2013	Hansen ve ark.	30
Döküntü (Ölü örtü) (gm ⁻²)	2008	Berberoğlu ve ark (2006)	100
Net Birincil Üretim (NPP) (gm ⁻² yr ⁻¹)	2014	Berberoğlu ve ark (2014a)	250
K Faktör	2014	Berberoğlu ve ark (2014a)	100
Ortalama Sıcaklık (°C) (1975-2011)	2013	Berberoğlu ve ark (2014a)	100
Solar radyasyon (Joule kg ⁻¹) (1975-2011)	2014	Berberoğlu ve ark (2014a)	100
Yağış (mm) (1975-2011)	2013	Berberoğlu ve ark (2014a)	100
Biyokütle	2014	Orjinal	30
Sudan uzaklık (m)	2014	Orjinal	30
CTI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS	30
NDVI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS	30
GSI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS	30
SAWI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS	30
CI	2014	Landsat 8 OLI/TIRS	30

GSI, Xiao ve ark. (2006) tarafından özellikle çölleşme, toprak yapının değişimi ve bu değişimin Landsat bantları ile izlenebilmesi için geliştirilmiştir. Toprağın üst yüzeyindeki mekanik yapı hakkında bilgi veren çalışmada GSI ve ince kum yapısı arasında pozitif korelasyon elde edilirken, siltli ve killi toprak yapısı ile negatif korelasyon elde edilmiştir. Toprakla ilişkili bir indeks olan GSI +1 ve -1 arasında değer almaktadır. Landsat uydusuna ait R,G,B bantları ile üretilen GSI formülü (Begzsuren, 2007; Xiao ve ark. 2006):

$$GSI = \frac{R - B}{R + G + B} \quad (3.19)$$

Toprakla ilişkili bir diğer indeks Clay Index (CI), Landsat bantlarından üretilmiştir. Topraktaki kil içeriği ile ilgili olan CI, orta kızılötesi bantlar aracılığı ile üretilmektedir (Hengl, 2007; Marchetti ve ark. 2010).

$$CI = \frac{SWIR 1}{SWIR 2} \quad (3.20)$$

Toprak ve bitki arasındaki yansımaya değerleri ile ilişkili Düzeltilmiş Toprak Bitki İndeksi (Soil Adjustment Vegetation Index-SAVI) Landsat görüntüleri aracılığı ile üretilmiştir. Bu indeks özellikle bitki örtüsü ve toprak ayırımalarının belirlenmesi için pek çok çalışmada kullanılmaktadır (Huete, 1988). L düzeltme faktörü bitki yoğunluğuna göre 0 (çok yoğun) ile 1 (az yoğun) arasında değer almaktadır. Bu çalışmada 0.5 değeri kullanılmıştır.

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (1 + L) \quad (3.21)$$

Akış yönü ve akış birikintisi bilgileri ile üretilen Birleşik Topografik İndeksi (Compound Topographic Index-CTI) toprak nemliliği ile ilişkili bir indekstir. CTI, topografya yapısının suya doyumluk ve nemlilik değerlerine ait bir indekstir. Birçok kaynakta topografik nemlilik indeksi (TWI) olarakta kullanılmaktadır.

$$CTI = \ln \frac{A_s}{\tan \beta} \quad (3.22)$$

CTI değerinin düşük olduğu alanlar sırtları, yüksek olduğu alanlar ise alüvyal düzlükleri işaret etmektedir (Akyürek, 2017; Dağdelenler, 2013). A_s hesaplanan birim alandaki kümülatif akımı (flow accumulation), β ise hücredeki yamaç eğimini ifade etmektedir.

Toprak Organik Karbon (TOK) İçeriği

Toprakta birim alana düşen organik karbon miktarı RK yöntemi ile modellenerek tahmin edilmiştir. Toprak karbonu üzerine yapılan çalışmaların geneli topraktaki karbonu yüzde (%) değeri ile ifade etmektedir. Bu nedenle birim alana düşen % karbon değerinin birim alanda depolanan karbon içeriğine dönüştürülmesine gereksinim duyulmaktadır. Bu aşamadaki dönüşüm ve hesaplama işlemi Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi Çevre ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü (European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability) tarafından yürütülen “Küresel Toprak Organik Karbon Tahminleri ve Uyumlaştırılmış Dünya Toprak Veritabanı” çalışmasında kullanılan Toprak Organik Karbon Hesaplama (Soil Organic Carbon Computation) yöntemi temel alınmıştır (Eşitlik 3.23).

$$SOCS = SOC (\%) \times BD (g \text{ cm}^{-3}) \times A (ha) \times LD (m) \times 10^2 \quad (3.23)$$

TOK içeriği (SOCS) (Mg ha^{-1}), SOC (TOK) belirlenen toprak derinliğindeki karbonu (%), BD toprak tekstürüne göre belirlenmiş özgül ağırlık (Mg m^{-3}), A toprak organik maddesinin kapladığı birim yüzey alanı (ha), LD toprak derinliğini (m) ifade etmektedir (Hiederer ve Köchy, 2011). Toprak organik karbonunun hesaplanması sürecinde BD verisi, çalışma alanına ait toprak tekstür sınıfları verisinden üretilmiştir. BD katsayıları, toprak tekstürlerine ait pedotrasfer yönteminin esas alındığı interaktif olarak erişim sağlanan Bulk Density Calculator Work Table ile hesaplanmıştır (Çizelge 3.6.). Bu yöntemle göre temel girdi verileri, çalışma alanına ilişkin toprak karbonu yüzde tahmin haritası ve toprak tekstür verisidir (Aydın ve ark. 2016; Mirici ve ark. 2015). Çalışmada toprak organik karbon miktarının belirlenmesi için 0-30 cm derinlik esas alınmıştır.

Çizelge 3.6. Çalışma alanı kil-silt-kum oranı, tekstür sınıfları ve BD değeri

Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür Sınıfı	Bulk Density
30	40	30	Killi Balçık	1.33
35	35	30	Killi Balçık	1.31
35	45	25	Killi Balçık	1.30
40	40	20	Killi	1.27
40	35	25	Killi	1.28
45	30	25	Killi	1.24
50	35	15	Killi	1.22
50	30	20	Killi	1.23

3.2.3.4. Döküntü (Ölü Örtü)

Toprak üstü biyokütle havuzu ve toprağa ait karbon havuzu arasında ara geçit olarak önemli bir yere sahip olan döküntü miktarı organik maddenin toprak üzerinde ayrışarak toprağa ulaşmasında ve toprak karbonunun birikiminde büyük öneme sahiptir.

InVEST modelinin karasal karbon havuzlarına yönelik dört temel karbon havuzundan biri döküntü haritasıdır. Modele ait bu önemli girdi Berberoğlu ve ark. (2006) tarafından üretilen TÜBİTAK proje çıktılarından temin edilmiştir. Berberoğlu ve ark. (2006), Yersel verisetinin oluşturulmasında beş farklı orman meşcere türünün altına yerleştirilen 50x50cm büyüklüğündeki tuzaklara düşen döküntü örneklerinde yararlanılmıştır. Bu beş farklı meşcere alanın bitki örtüsünü temsil eden; (i) kızılçam, (ii) karaçam, (iii) ardıç, (iv) sedir ve (v) göknar-karaçam-sedir karışık bitki örtüsünden toplanmıştır. Her meşcere tipine ait 6 adet tuzaktan iki yılı kapsayan 10 farklı dönemde döküntü örnekleri toplanmıştır. Laboratuvar analizi öncesinde döküntü örnekleri 48 saat boyunca 105°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında hassas terazi ile kurutulan döküntülerin kuru madde ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar regresyon analizi aracılığı ile haritalandırılmıştır.

3.2.4. Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC)

Tezin bu aşamasında ülkemize yönelik karbon fiyatının tahmin edilmesi amacı ile entegre değerlendirme modellerinden biri olan RICE2010 modeli kullanılmıştır. RICE, iklim değişiminin bilimsel yönü, politika ve ekonomisini temsil ederek basitleştirilmiş ve deneysel bir modeldir. Bu modelin tercih edilmesindeki en önemli nedenler; modelin geniş literatür kaynakları ve kullanım esnekliğidir. Özgün bir model olarak öne çıkan RICE modelinin ekonomik yapısı üç dayanak noktasına sahiptir. Bunlar temel olarak; (i) neo-klasik ekonomi teorisi, (ii) marjinal fayda yaklaşımı ve (iii) indirgeme oranıdır.

Neoklasik ekonomi yaklaşımı

Neoklasik iktisat alanının temel yaklaşımı; tüketim, üretim ve yatırım gibi ekonomik olgular, bireysel karar ve tercihlerin uygulanması ile ortaya çıkmaktadır. Bu sayede fiyat mekanizması karar ve tercihler arasında denge sağlamayı hedeflemektedir. Bu noktada neoklasik düşüncenin dayanak noktası toplumsal ve ekonomik dengedir. Bu anlamda birey hem tüketici hem de üretici rolündedir. Birey tüketici olduğunda fayda maksimizasyonu, üretici olduğunda ise kar maksimizasyonu normlarına göre rasyonellik sağlamaktadır. Esas olarak neoklasik iktisat teorisi, bireysel davranışlardan hareketle bazı evrensel kurallar bulmayı amaçlamaktadır. Tüketici davranışlarındaki rasyonellik, sınırsız olan ihtiyaçlar ile sınırlı kaynaklar arasındaki dengenin kurulmasını sağlamaktadır. Tüketici davranışındaki bu denge eş-marjinallik ilkesini ortaya çıkarmaktadır. Eş-marjinallik, fayda, getiri, maliyet gibi unsurların marjda eşitlenmesi ilkesi olarak tanımlanmaktadır. Tüketici açısından eş-marjinallik her mala yapılan harcamanın son biriminde elde edilen faydanın eşitlenmesi durumu olarak bireysel optimizasyonu sağlamaktadır. Eş-marjinallik üretim açısından ele alındığında ise üretim faktörlerine yapılan harcamaların son birimde elde ettikleri kazancın eşitlenmesi durumudur. Fiyat mekanizması, fayda ve kar maksimizasyonunun bağdaştırarak bireysel ve toplumsal dengeyi bir arada gerçekleştirmektedir. Bunun

sonucunda tüketimde marjinal fayda, üretimde ise marjinal verimlilik ilklerinin uygulanması söz konusudur (Akyüz, 2009).

Marjinal Fayda Teorisi

Neoklasik yaklaşım, kullanım değeri kavramını niceliksel bir hale getirerek fayda-değer teorisi ile buna dayanan fiyat teorisini geliştirmiştir. Kullanım değerinin niceliksel hale dönüştürülerek fiyatının belirlenmesi ise marjinal fayda kavramı ile sağlanmaktadır. Fayda-değer teorisine göre malların değerleri içerdikleri toplam faydaya değil marjinal faydaya bağlıdır. Marjinal fayda bir malın tüketilen miktarı ile ters orandır. Bu nedenle bir mal ne kadar kıt ise, o malın marjinal fiyatı ve faydası o ölçüde yüksektir. Bu durumda kaynakların az olması malların marjinal faydalarını ve değerlerini belirleyen en temel unsurdur.

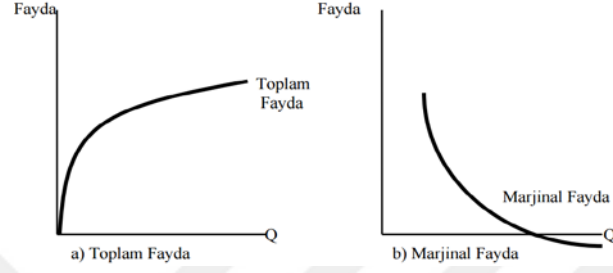
$$U = U(x) \qquad U' = U'(x) > 0 \qquad (3.24)$$

Tüketim-fayda ilişkisi fayda fonksiyonu ile tanımlanmak istendiğinde X malının x birimden sağladığı toplam fayda fonksiyonu U ile ifade edilmektedir² (Eşitlik 3.24). Tüketim arttıkça toplam fayda artış göstermektedir. Bu fonksiyonunun türevi ise marjinal faydayı vermektedir. Bu durumda marjinal fayda; tüketimdeki bir birimlik artışın toplam fayda üzerindeki değişimini göstermektedir. Tüketilen malda δx birimlik bir artışın toplam faydaya sağladığı artış Eşitlik 3.25 ile sağlanmaktadır (Akyüz, 2009).

$$\delta U = \frac{dU}{dx} \delta x \qquad (3.25)$$

² Util (U): Fayda

Tüketilen malın artışı toplam faydayı arttırırken marjinal fayda azalmaktadır. Tüketimdeki azalma ise marjinal faydanın artmasını sağlamaktadır. Bu ilişkiyi Şekil 3.16'da gözlemlemek mümkündür.



Şekil 3.17. Toplam fayda ve marjinal fayda

Tüketim miktarı arttıkça marjinal faydanın azalması durumu azalan marjinal fayda olarak isimlendirilir. Fayda soyut bir kavram olarak neoklasik yaklaşım çerçevesinde çok tartışılmıştır. Bu noktada fayda tüketicinin bir birim ek mal için harcamak için vazgeçtiği bedeldir. Sürekli biçimde artan tüketim mal birimlerinden gelecek faydayı azaltmaktadır.

RICE modeli, temel alınan geçmiş baz yıl ile hedeflenen yıllara ait marjinal faydaları hesaplamaktadır. Marjinal faydanın hesaplanması sürecinde ülke sermayesi, toplam üretim faktörü, nüfus ve sermaye payı ekonomik göstergeleri ile 2005, 2015, 2025, 2035, 2045 ve 2055 yıllarına ait marjinal fayda belirlenmiştir. Modelde indirgeme oranına giden süreç marjinal faydalara bağımlı olarak değişim göstermektedir. Bu noktada zamanlar arası tüketim seçimi ve indirgeme oranı bugünkü mallar ve gelecekteki malların fiyatlarından etkilenmektedir.

İndirgeme Oranı ve Zaman Tercihi

İnsanların aynı düzeydeki iki tüketim değerinden daha önceki dönemde eline geçecek olanı tercih etmesi veya bugünkü tüketiminden tasarruf ederek gelecekte daha çok tüketmek düşüncesi, gelecekteki tüketimin bugün belirli bir oranda indirgemeye tabi tutarak değerlendirilmesine neden olmaktadır.

t döneminde X kadar malın bugünkü tüketimi : X_t
 t+n döneminde X kadar malın gelecekteki tüketimi : X_{t+n} olduğu varsayıldığında, tüketicinin X_t 'ye X_{t+n} 'den daha çok değer vermesi, $MU(X_t) > MU(X_{t+n})$ olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda bu malın t+n dönemindeki tüketiminden sağlanacak faydanın bugünkü değeri, aynı malın t dönemindeki tüketiminden sağlanacak faydadan düşük olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle birey geleceği değil, bugünü tercih etmiş olmaktadır. Tüketim geciktiği sürece daha az fayda sağlayarak zaman indirgenmektedir. Zamanlar arası tercihlerin modellenmesi için indirgenmiş fayda teorisi kullanılmaktadır. Bunun için bugün ve geleceğe ait tüketimin marjinal faydası kıyaslanarak indirgeme oranı tahmin edilmektedir. Bireyin zaman tercih oranı gelirin zaman içindeki dağılımının bir fonksiyonudur. Mevcut tüketimin bugünkü marjinal faydası ile gelecekteki tüketimin bugünkü marjinal faydası arasındaki farkın, gelecekteki tüketimin bugünkü marjinal faydasına oranı zaman tercih oranını (p) belirlemektedir (Eşitlik 3.26) (Akyüz, 2009; Taşdemir, 2006).

$$p = \frac{MU(X_t) - MU(X_{t+n})}{MU(X_{t+n})} \quad (3.26)$$

p , zamanın tercih oranı $R(t)$, indirgeme oranını doğrudan etkileyen en önemli faktördür (Eşitlik 3.28). İndirgenmiş fayda çoğu araştırmacı tarafından bazı belirsizlik ve kişisel tercihlerin değişkenliği sebebi ile eleştirilmesine rağmen sağladığı kolaylık ve basit çerçeveden dolayı tercih sebebidir (Nordhaus, 2011). Bireysel ölçekten çıkarak ülkesel tüketime ulaşan indirgeme oranı, bugün ve gelecekteki tüketimin marjinal faydasına göre belirlenmektedir. Bir ülke veya bölge için yapılan tahminlerde gelecekteki gelir az ve marjinal fayda yüksek ise indirgeme faktörü azalır ve dolayısı ile SCC değeri artış gösterir. Bunun tam tersi gelecekte gelir yüksek ve marjinal fayda düşük ise indirgeme faktörü artar ve dolayısı ile SCC değeri azalır. Dolayısı ile Diwany (2011)'in belirttiği gibi "yarının

değerini bugünden ayırmak” olan bu yaklaşım, bireylerin bugün ve gelecek arasındaki tüketim tutumları aracılığı ile iklim değişimine ve dolayısı ile karbon fiyatının artması veya azalmasına etki gösteren en önemli faktördür.

RICE Model Çerçevesi

RICE modeli, Yale Üniversitesi Ekonomi Bölümü’nden Prof. Dr. William Nordhaus tarafından geliştirilmiştir. Nordhaus, 1970’li yıllarda çevre ve ekonomi konusunda IAMs çerçevesi üzerine çalışarak DICE modelini geliştirmiştir. DICE modeli, İklim ve Ekonominin Dinamik Entegrasyonu (Dynamic Integrated model of Climate and Economy), RICE-İklim ve Ekonominin Bölgesel Entegrasyonu (Regional Integrated model of Climate and Economy) modelinin kökenini oluşturmaktadır. Bu bağlamda DICE modelinin yapısı RICE modelini kapsamaktadır (Nordhaus ve Sztorc, 2013).

Modelde 2005 yılına ait ekonomik ve emisyon parametreleri kullanılarak ülkemize yönelik 2015, 2025, 2035, 2045 ve 2055 yıllarına ait karbonun sosyal maliyeti (SCC) öngörülmüştür. Modelin çözümlenmesi, denklem ve fonksiyonların tanımlanması sürecinde tamamı modelin geliştiricisine ait olan kaynaklardan yararlanılmıştır (Nordhaus 2010, 2011, 2014, 2017; Nordhaus ve Sztorc, 2013).

RICE modelinin dayandığı ekonomik bakış açısı neoklasik ekonomik büyüme teorisidir. Küresel iklim değişimi, sera gazı konsantrasyonlarının artışı, endüstriyel kaynaklı CO₂ emisyon artışı ve doğal kaynakların kirliliği olmak üzere birçok çevresel problemin altında yatan temel sebep olarak ekonomik büyüme işaret edilmektedir (Albayrak ve Gökçe, 2015; Grossman ve Kreuger, 1991; Kang ve ark. 2016; Kuznests 1955; Lebe 2016; Shafik 1994; Stern 2003). Bu nedenle büyüme ve emisyonlar arasındaki ilişki DICE/RICE modeli doğrultusunda Ramsey (1928) tarafından üretilen ekonomik büyüme modeli çerçevesinde kurgulanmıştır. Ramsey’in büyüme kurgusunda tüketim üzerinden bireyin refahının yükseltilmesi hedeflenir. Refahın yükselmesi ve gelecekte büyümenin sağlanması ise şimdiki zamana ait tüketimlerden tasarruf edilerek geleceğe yatırım yapılmasını

öngörmektedir. Ramsey'in büyüme teorisi tasarruf oranının içselleştirilmesini sağlayan Cass (1965) ve Koopmans (1965) tarafından güncellenmiştir.

Ramsey tarafından oluşturulan ve Cass-Koopmans tarafından geliştirilen ekonomik büyüme teorisi tüketim ve tasarruf kararlarını içselleştirerek tüketici faydasını maksimize etmektedir. Bu sayede hem tüketici faydası maksimizasyonu sağlanırken hem de optimal büyüme oranı yakalanacaktır. Ekonomik perspektif ile ele alınan büyüme faktörü ülkelerin vazgeçemeyecekleri bir tatmin hususudur. Bu bağlamda özellikle Kyoto Protokolü sonrasında ülkelerin ürettikleri emisyonların azaltımı konusu bir açmazda girmektedir. Nitekim, ortak geleceğimiz raporu ile başlayan süreç Kyoto Protokolü ve son olarak Paris Sözleşmesi ile devam etmektedir. Ve fakat Kyoto Protokolü'nden bu yana ABD ve Rusya gibi süper güçlerin sürece etkin olarak katılmamaları, protokole taraf olan ülkelerin ise azaltım taahhütlerini yerine getirememelerinin temel sebebi büyüme hedeflerinden vazgeçememeleridir. Ülkeler protokol kapsamında emisyon azaltım hedefi belirlediklerinde bunu iki yol ile gerçekleştirme durumuna sahiptirler; (i) yenilenebilir enerji sanayilerinin geliştirilmesi –ki bu yüksek düzeyde yatırım gerektirir veya (ii) ülkenin tasarruf yolunu seçerek emisyon azaltımını sağlamak için daha az emisyon üreten teknolojileri tercih edilmesidir. Bahsi geçen her iki olası durumda da ülkelerin tercihleri ve taahhüt ettikleri emisyon hedeflerine ulaşma çabası yatmaktadır. Ancak emisyon azaltım hedeflerinin gerçekleştirilmesi ya gelecek nesiller için bugünün ekonomik getirilerinden vazgeçilmesi veya yenilenebilir enerji sanayi sektörüne büyük yatırımların yapılmasını gerektirmektedir. Her iki koşulda da günümüze ilişkin ekonomik büyümeden feragat edileceği açıktır. Bu esasen yalnızca ekonomik büyüme olmalı mı? olmamalı mı? sorusundan ziyade nesiller arası iklimsel adalet ve felsefi boyutta ahlak olguları ile şekillenen bir mekanizmadır. Bu bağlamda küresel iklim değişimini yalnızca Kyoto Protokolü kapsamında ele almak yetersiz kalmaktadır. Gelişen ülkeler ekonomik büyüme hedeflerini gerçekleştirmek veya küresel iklim değişimini azaltmak/indirgemek arasındaki tercihi tartışırken Türkiye gibi

gelişmekte olan veya Afrika gibi az gelişmiş ülkeler henüz bu konuda tercih seviyesine henüz ulaşamamıştır. Bu bağlamda gelişimini henüz tamamlamamış bu ülkeler için ekonomik büyümeden vazgeçmek söz konusu olamamaktadır.

Özellikle günümüzde karşı karşıya olduğumuz sera gazı emisyonlarının aşırı artışı ve bugünkü boyuta ulaşmalarının asıl sorumlularının gelişmiş ülkeler olduğu genel kabuller arasındadır. Dolayısı ile geçmişteki emisyon salınımları ve üretimlerini meydana getirirken ekonomik büyüme hedefini sağlayan ve gelişmişliklerini tamamlayan ülkelerin, insan ve endüstri kaynaklı küresel ısınmanın aktörleri olduğunu ifade etmek yanlış olmayacaktır. Bu bağlamda iklim değişimi çıkmazı, gelişmiş ülkelerin tercihleri ve gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerin ekonomik büyümelerinden feragat edememeleri noktasındadır.

Ekonomik büyüme ve iklim değişikliğinde olası zararların maliyeti bir ülkenin sahip olduğu ekonomik göstergeler paralellik göstermektedir. Bir ülke ne denli yüksek sermaye ve toplam faktör verimliliğine (Total Factor Productivity-TFP) sahip ise o denli yüksek iklim zararı meydana getirecektir. RICE modelini DICE modelinden ayıran temel özelliklerden biri de budur. Ülkelere göre değişen ekonomik göstergeler gelişmişlik düzeyi ve iklim zarar maliyetleri açısından farklılık göstermektedir. RICE modeli ülkelere yönelik özelleşen ekonomik verileri kullanırken, DICE modeli küresel ekonomik verileri kullanmaktadır.

RICE modeli temel olarak üç eksenin birleşiminden oluşmaktadır. Bunlar; (i) ekonomik sektör, (ii) küresel jeo-fiziksel göstergeler ve (iii) politika optimizasyonlarıdır. Optimizasyon mekanizmasının sağladığı en önemli nokta ekonomik büyümeden tümü ile feragat edilmeden hem optimal düzeyde büyüme hem de ekonomik ve küresel jeo-fiziksel göstergeler ile ülkelere özgü farklı ağırlıklarla hesaplanan optimal indirgeme faktörünü modellemektir (Nordhaus ve Sztorc, 2013).

Bu teori gelecek zamandaki tüketimi arttırmak için şimdiki zamandaki tüketimlerin azaltılarak teknoloji, sermayeye ve eğitime yatırım yapılmasını hedeflemektedir. Neoklasik büyümede önemli bir yere sahip olan yatırımlar bu

modelde doğal sermaye aracılığı ile uygulanmaktadır. Ancak modeldeki en önemli nokta sera gazı ve CO₂ emisyonlarının negatif doğal sermaye olarak kullanılmasıdır. Teoriye göre negatif doğal sermaye olan sera gazı emisyonları azaltılmalıdır. RICE modeli neoklasik iktisatta sermaye stoklarını doğal sermaye olarak emisyonlarla bağdaştırmış ve bunu negatif yönüyle kurgulamıştır.

Modelleme süreci hedef ülke veya bölgenin tüketim yoluyla ilişkilendirdiği sosyal refah fonksiyonu ile temsil edilmektedir (Eşitlik 3.27). Modelde kullanılan ve optimal büyümenin modern teorilerinden biri refah fonksiyonu ile temsil edilmektedir (Koopmans, 1965; Nordhaus, 2017; Nordhaus ve Sztorc, 2013).

$$W = \sum_{t=1}^{Tmax} U[c(t)]L(t)R(t) \quad (3.27)$$

Sosyal refah fonksiyonu olarak W , kişi başı tüketimlerin nüfus-fayda ağırlık toplamalarının indirgenmesini ifade etmektedir. $c(t)$ kişi başı tüketim, $L(t)$ nüfus ve $R(t)$ indirgeme faktörüdür (Eşitlik 3.28). İndirgeme faktörü küresel iklim değişimi sürecinde zamanlararası tercihleri etkileyen en önemli etkenlerden biridir. İndirgeme faktörü, toplumun günümüz tüketimleri ve gelecekteki tüketimleri arasındaki dengenin kurulmasında kullanılan oran olarak ifade edilebilir. İndirgeme faktörü zamanlararası tercihi öyle iyi belirlemelidir ki, ne bugünkü tüketim azlığından dolayı mağdur olmalı ne de gelecek nesillere adaletsiz davranmayacak ölçüde tutulmalıdır. Nitekim gelecek nesillere karşı duyulan sorumluluk, şimdiki nesilden beklenen tasarruf yolundan geçmektedir (Ceylan, 2012; Uzunkaya ve Uzunkaya, 2012).

$$R = (1 + p)^{-t} \quad (3.28)$$

R indirgeme faktörü, p indirgeme oranı veya sosyal zaman tercihinin saflık oranı, t zamanı ifade etmektedir. Tüketimin faydası aşağıdaki formülle temsil edilmektedir. Fayda fonksiyonu $U(c)$ üzerinde belirleyici olan indikatör, tüketimin marjinal faydasının esneklik sabitidir. Esneklik (elastikiyet) parametresi nesiller arası eşitsizlik veya adaletsizlikten kaçınmanın en önemli bileşenidir. Esneklik katsayısı düşük ise nesiller arası tüketim farkı az, esneklik yüksek ise nesiller arası fark fazladır. Bu durumda esneklik fayda teorisinde nesiller arası duyarlılığın bir ölçüsüdür (Nordhaus, 2011; Nordhaus ve Sztorc, 2013).

$$U(c) = c(t)^{1-\alpha}/(1-\alpha) \quad (3.29)$$

Modelin ilk aşaması milli sermaye birikiminin belirlenmesi ile başlatılır. Milli sermayenin belirlenmesi Türkiye'ye ait 2005 yılı Gayri Safı Yurtiçi Hasıla (GSYH), nüfus, kişi başı GSYH ve sermayenin marjinal ürünü (Marginal Product Capital-MPK) verileri kullanılarak üretilmiştir. Modelde ekonomik olarak kullanılan tüm parasal değerler 2005 baz yılı satınalma gücü paritesi (purchasing power parity-ppp) ile modellenmiştir. Bu doğrultuda model tarafından üretilen güncel ve gelecek yıllara ait karbonun sosyal maliyeti 2005 satınalma gücü paritesi değeriyle tahmin edilmiştir. RICE2010 modelinde tüm ekonomik veriler sabit (constant) değer ile modele dahil edilir. Basitleştirilmiş model çerçevesinde her ülke veya bölgeye özgü başlangıç sermayesi (initial capital), nüfus ve TFP verileri tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} L(t) &= L(t-1)[1 + g_L(t)] \\ g_L(t) &= g_L(t-1)/(1 + \delta_L) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Başlangıç nüfus verisi $L(t-1)$ kullanılarak gelecek nüfus projeksiyonunun tahmini $L(t)$, lojistik tipte sadeleştirilerek uygulanmıştır (Eşitlik 3.30). Model

başlangıç nüfus verisi için 2005 yılı verileri üzerinden temel alınmıştır. $g_L(t)$ fonksiyonu BM tarafından belirlenen nüfus büyüme oranıdır.

$$\begin{aligned} A(t) &= A(t-1)[1 + g_A] \\ g_A(t) &= g_A(t-1)/(1 + \delta_A) \end{aligned} \quad (3.31)$$

Ülkeye yönelik toplam faktör verimliği (TFP), $A(t)$ ile nüfusun lojistik denkleminde benzer biçimde temsil edilmektedir. Oluşturulan denklem zamanla TFP büyümesinin ($g_A(t)$) azalması yönünde geliştirilmiştir. Ülke sermayesi, TFP ve nüfus fonksiyonların üretilmesi sağlanmıştır. Üretilen üç değişken azaltım ve iklim değişikliği zararı öncesine ait çıktı olan $Y(t)$ fonksiyonunda girdi olarak kullanılmaktadır.

$$Y(t) = A(t)K(t)^\gamma L(t)^{1-\gamma} \quad (3.32)$$

Ekonometrik model sermaye $K(t)$, $A(t)$ ve nüfus $L(t)$ değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak iklim zararı ve azaltım brüt çıktısını $Y(t)$ ortaya koymaktadır (Eşitlik 3.32). Brüt olarak elde edilen sonucun net çıktıya dönüştürülebilmesi için zarar maliyeti ve azaltım maliyetlerinin brüt çıktıdan çıkartılması sağlanır.

$$D(t) = \varphi_1 T_{AT}(t) + \varphi_2 [T_{AT}(t)]^2 \quad (3.33)$$

$D(t)$ zarar fonksiyonu, $T_{AT}(t)$ küresel ortalama yüzey sıcaklığının değişimini ifade etmektedir. Küresel ortalama yüzey sıcaklığının değişimini ve küresel yüzey sıcaklık değişiminin karesine (temperature squared) ilişkin veriler, RICE modeli için Nordhaus tarafından geliştirilen doğrusal (lineer) ve ikinci dereceden (quadratic) fonksiyonlar aracılığı ile sabit katsayılar olarak üretilmiş ve kullanılmıştır (Eşitlik 3.33). Zarar fonksiyonu ilk tasarlandığında daha çok faktörü

dikkate alan ve karmaşık yapıya sahiptir. Norhaus (2011), modelin revizyonu sürecinde karmaşık yapının basit bir çözümlerle üretilmesini sağlamıştır. Ancak okyanusun asitleşmesi, deniz seviyesinin yükselmesi, okyanus tabanındaki ekosistem döngüsü vb. konularda belirsizliğini koruyan noktalar ihmal edilmektedir. Buna ek olarak zarar fonksiyonunun oluşturulmasında endüstrileşme sonrası artan sıcaklık eksenini esas alınmıştır. Bu doğrultuda model zarar fonksiyonuna ilişkin sıcaklık artışlarını 0 °C ile 3 °C arasında değişen zarar tahminleri için kalibre etmektedir. 3 °C üzerindeki sıcaklık artışı katastrofik (öngörülemez hasar) etkilere sebep olmaktadır. Bu nedenle zarar fonksiyonunda 3 °C üzerindeki sıcaklık artışları modelleme sürecine dahil edilmemiştir. Buna ek olarak iklim zarar ve azaltımının net çıktısına ulaşabilmek için zarar maliyetinin yanı sıra azaltım maliyetinin de belirlenmesi gerekmektedir.

RICE modeli azaltım maliyetinin tahmin edilebilmesi için ülkenin Kyoto Protokolüne taraf olup olmaması, eğer taraf ise azaltım taahhüdü olup olması durumlarına göre koşullu bir önerme geliştirmiştir. Eğer ülke protokole taraf ve azaltım hedeflerine sahip ise sahip olduğu teknoloji ve bu teknolojilerin emisyon durdurma maliyetlerinden yararlanarak azaltım maliyeti çıktısını üretmektedir. Türkiye'nin sahip olduğu durdurma teknolojilerine ait bir maliyet bulunmamaktadır. Bu nedenle ülkemize ait azaltım maliyeti "sıfır" olarak modelleme sürecine dahil edilmiştir.

$$Q(t) = D(t)[1 - \lambda(t)]Y(t) \quad (3.34)$$

$Q(t)$ iklim ve azaltım sonrası net çıktısı, $D(t)$ iklim değişiminin zarar fonksiyonu, $\lambda(t)$ emisyon azaltım maliyeti ve $Y(t)$ azaltım ve iklim zararı öncesindeki brüt çıktı olarak ifade edilmektedir (Eşitlik 3.34).

Analizin bu aşamasına kadar ekonomik sektör tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki bölüm ise ekonomik ve küresel jeo-fiziksel göstergelerin süreçlerinin entegrasyonudur. Model ekonomik veriler aracılığı ile üretilen iklim

zararı ve azaltımının brüt çıktısı $Y(t)$ ve Türkiye'ye ait endüstriyel CO₂ emisyon girdileri ile toplam CO₂ emisyon seviyesine ait fonksiyonu oluşturulmaktadır.

$$E(t) = \sigma(t)[1 - \mu(t)]Y(t) \quad (3.35)$$

$E(t)$ toplam CO₂ emisyonu, $\sigma(t)$ emisyonların karbon yoğunluğu, $\mu(t)$ emisyon azaltımın oranı ve $Y(t)$ üretilen iklim zararı ve azaltımının brüt çıktısıdır (Eşitlik 3.35). Ülkemize ait toplam CO₂ emisyonunun tahmin edilmesi sürecinde belirleyici faktörler sermaye, TFP ve nüfus verileri ile elde edilen üretilen iklim zararı azaltımının brüt çıktısı, endüstriyel kaynaklı CO₂ emisyonları ve nüfus ile üretilen emisyon karbon yoğunluğu verilerdir. Küresel iklim değişikliğine ait jeofiziksel süreçte emisyon ve sıcaklık artışları arasındaki fonksiyondan yararlanılmıştır (Eşitlik 3.36).

$$TCS = \frac{dT}{dE} \left[\frac{ECS}{3} \right] \quad (3.36)$$

Emisyon - sıcaklık artışı - iklim hassasiyeti konusundaki veriler küresel parametrelerin kullanımı ile sağlanmıştır. Bu noktada kritik bir öneme sahip olan parametre iklim sıcaklık hassasiyeti dengesidir. TCS , iklim geçiş hassasiyeti (Transient Climate Sensivity) endüstri devriminden sonra oluşan emisyonların sıcaklık değişimine göre türevi ile modellenmektedir. ECS , iklim hassasiyet dengesi (Equilibrium Climate Sensivity) parametresidir. RICE ve DICE modelinde endüstrileşme sonrası gerçekleşen sıcaklık değişimi (dT), emisyon değişimi (dE) ve ECS 'ye ait veriler General Circulation Modeli (GCMs) sonuçlarına dayanmaktadır. GCMs, mevcut eğilimden yola çıkarak sera gazı emisyon artışlarının karasal, okyanus ve atmosfer düzeyindeki fiziksel yansımalarına ait simülasyonları içeren bir modelleme sistemidir (IPCC, 2013). Nordhaus, iklim hassasiyet dengesi (ECS) için küresel düzeyde 3.2 °C'lik bir artışın atmosferdeki CO₂ emisyonunu ikiye

katladığı konusunda GCMs simülasyonlarının yanı sıra bu konuda yapılmış araştırmaların sentezlerini ve ortalama ağırlıklarını temel almıştır.

$$\frac{d(Dam)}{dE} = \frac{D(Damages)}{dT} [TSC] \quad (3.37)$$

$$\frac{D(Damages)}{dT} = [\Psi_1 \Psi_2 T] C(t) \quad (3.38)$$

Sıcaklık, emisyon ve iklim etkileşimine bağlı olarak ekonomik ve jeo-fiziksel süreçleri tanımlayan $d(Dam)/dE$, zararın sıcaklığa göre türevi ile modellenmektedir. $D(Damages)/dt$ zararın sıcaklığa göre türevi olup Ψ_1 ve Ψ_2 sıcaklıktaki zarar sabiti, T endüstrileşme sonrası sıcaklık artışı ($^{\circ}C$) ve $C(t)$ dünyanın toplam tüketimidir. SCC tahmin edilme sürecinde emisyonların ülkeye verdiği ekonomik ve ekolojik zararların elde edildiği bu aşamada sıcaklık değişiminin zarar üzerindeki etkisi belirlenmektedir (Eşitlik 3.37 ve 3.38).

Karbonun sosyal maliyeti (SCC), W sosyal refah fonksiyonu, $E(t)$ emisyondaki değişimler, $C(t)$ hedef ülkeye ait tüketim olarak ifade edilmektedir. İlk olarak birinci denklemin payı t zamandaki refah üzerinde emisyonun marjinal etkisini ve payda t zamandaki tüketim toplamalarının bir biriminin marjinal refahı olarak tanımlanır. Dolayısı ile $\partial C(t)/\partial E(t)$ ifadesi t zamandaki tüketim etkisiyle bir birim emisyonun ekonomik maliyetine eşittir (Eşitlik 3.39).

$$SCC(t) = \frac{\partial W}{\partial E(t)} / \frac{\partial W}{\partial C(t)} \quad (3.39)$$

RICE modeli bölgesel veya ülkesel SCC tahminlerini emisyonların marjinal zararları ile temsil etmektedir. Bu noktada ülkelere özgü ekonomik girdiler büyük önemli taşımaktadır. Buna ek olarak SCC zaman indekslidir. Bu

zamanla değişen emisyonların t zamanındaki marjinal maliyetidir. Belirtilen t zamanda tüketim sebebi ile üretilen her metrik ton CO₂'in 2005 ABD Doları (USD) maliyetidir. Bu araştırma kapsamında 2005 baz yılı esas alınarak 2015-2055 yılları arasında 10 yıllık periyotlara ait karbonun sosyal maliyeti öngörölmüştür. Model kapsamında tüm projeksiyon tahminlerine ait farklı maliyet ve farklı indirgeme oranları elde edilmiştir.

RICE Modeli ve SCC Belirsizlikleri

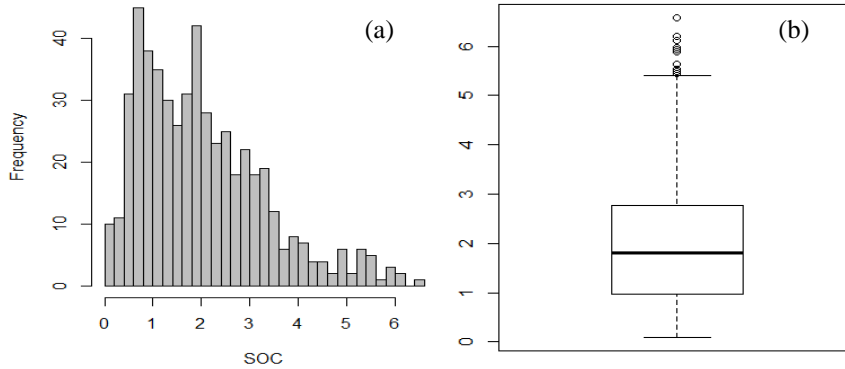
İklim değişimi projeksiyonları bir yüzyıldan daha fazlasını kapsamaya eğilimlidir. Bu nedenle birçok projeksiyon ve varsayıma dayanan sonuçların kanıtları zayıf olduğu konusunda fikir birliği bulunmaktadır. Bu açıdan karbonun sosyal maliyetine ilişkin hesaplamalarda bilimsel ve ekonomik belirsizliklerin olduğu kabulü doğrultusunda analizler gerçekleştirilmektedir. Ülkelerin büyüme belirsizlikleri, üretim büyümesi, gelecekte oluşacak etkilerin günümüz piyasa koşullarına göre fiyatlandırılması, nesiller arası tasarruf oranları ve indirgeme oranının ön görölemeyişi, gelecekteki seragazı konsantrasyon düzeyi, azaltım teknolojilerinin değişkenlikleri gibi etken faktörlerin tam ve kesin sonuçlarının olmaması modelleme sürecinde belirsizlikler bulunmaktadır (İşcan ve Yılmaz, 2011; Nordhaus 2010; 2017).



Çizelge 4.15. Toprak örnekleri tanımlayıcı istatistikleri

Standart Sapma	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
1.30	1.95	0.95	0.59

Simetrik dağılımın tepe değeri mod, dağılımın ortancası ise medyan olarak isimlendirilmektedir. Toprak örneklerine ait TOK değerlerinde mod medyandan küçük olduğu için sağa çarpıklık söz konusudur. Bu durum çarpıklık ölçütü ile desteklenmektedir. Çarpıklık ölçütü (m_3), kübik sapmaların alınması ile elde edilir. $m_3 > 0$ ise veri kümesi sağa çarpık (pozitif çarpıklık), $m_3 < 0$ ise sola çarpık (negatif çarpıklık) gösterir. $m_3 = 0$ durumu ise veri değerlerinin simetrik dağıldığını ifade eder (Akdeniz, 2010). Bu çalışmada çarpıklık ölçütü sıfırdan büyük olduğundan sağa çarpıklık söz konusudur. TOK örneği verilerinin sağa çarpık olduğu Şekil 4.36'da da gözlenmektedir. Buna ek olarak basıklık ölçütü (K), $K < 0$ ise normal dağılım eğrisine göre fazla basıktır (düz), $K > 0$ normal dağılım eğrisinden daha dar ve yüksektir (Akdeniz, 2010). Bu çalışmada TOK verileri için basıklık ölçütü 0.59 olduğundan $K > 0$ durumu gerçekleşmiş ve veri dağılımında normal dağılıma göre yüksek eğilim gözlenmiştir.



Şekil 4.36. (a) TOK (%) histogram, (b) TOK (%) kutu diyagramı

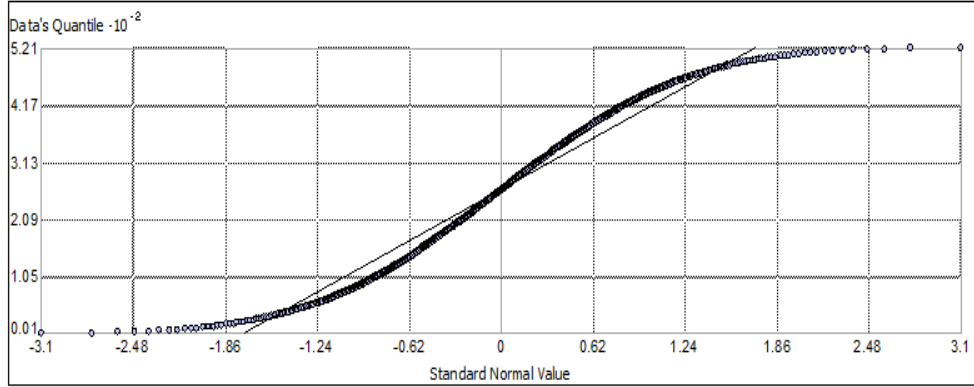
Toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına normallik testi uygulanmıştır. Kolmogorov-Smirnov normallik testine ilişkin sonuç Çizelge 4.16'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. Toprak örnekleri normallik test sonuçları

Kolmogorov-Smirnov ^a			
	Statistic	Df	Sig.
SOC	.082	521	.0843

a. Lilliefors Significance Correction

Q-Q grafiğinde küçükten büyüğe sıralanmış veriler eşit aralıklara bölünür, kuramsal dağılımın aynı bölüm noktalarındaki aldıkları değerleri X-Y düzleminde kıyaslamaktadır (George, 2010). R yazılımı ile elde edilen Q-Q grafiğine göre verinin en büyük ve en küçük değerleri beklenen olası değerlerden uzaklaşmakta ancak veri dağılımının geneli tahmin fonksiyon çizgisi üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle dağılımının normale yaklaştığı ifade edilebilir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. TOK örnekleri Q-Q grafiği

TOK örnekleri için tanımlayıcı istatistikler, çarpıklık ve basıklık katsayı değerleri, Kolmogorov Smirnov ve Q-Q grafiği analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları, çarpıklık ve basıklık değerlerinin normallik değerlendirmeleri

için kabul edilebilir aralıkta yer alması sebebiyle dağılımın normale yaklaştığı gözlenmiştir. Bu nedenle verilere logaritmik dönüşüm uygulanmamıştır.

4.4.3.4. Regresyon Analizi

RK yönteminde en önemli basamaklardan biri regresyon analizidir. Toprak örneklerine ilişkin TOK (bağımlı) değişkeni ve 17 yardımcı (bağımsız) değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesi işlemi bu aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 17 bağımsız değişkenin açıklamaları ve Çizelge 3.5'te verilmiştir. Bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken ile regresyon modelinin oluşturulabilmesi için çoklu doğrusal regresyon (Multi-Linear Regression-MLR) modelinden yararlanılmıştır.

MLR modeli çalışma alanında bulunan 10 farklı WRB toprak sınıfı için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Hem TOK hem de bağımsız değişkenlerin her biri WRB kategorilerinde ayrıştırılarak her birine ait spesifik veri setleri oluşturulmuştur. Bu doğrultuda her WRB sınıfı için farklı regresyon modeli kurulmuştur. RK yönteminin her WRB kategorisi için ayrı ayrı uygulanmasının temel nedeni; çalışma alanına ait tek bir regresyon modeli ile tahmin üretmekten kaçınarak daha hassas verilerin üretilmesidir. Bu doğrultuda farklı WRB sınırları içinde düşen yardımcı değişkenlerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri kısaca verilmiştir (Çizelge 4.18). Her verisetinin farklı değerler ile değerlendirildiğini bu verisetinden gözlemlemek mümkündür. Farklı değerdeki bağımsız değişkenler aracılığı ile MLR modelleri her WRB sınıfı için farklı model oluşmasını ve farklı regresyon model sonuçlarının üretilmesini sağlamıştır.

MLR analizinin uygulanabilmesi için istatistiksel koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar arasında en önemlileri verilerin normal dağılım sergilemesi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişkinin bulunması ve hata terimlerinin birbirlerinden bağımsız olma koşullarıdır. Bağımlı değişkene ilişkin Kolmogorov-Smirnov testinin uygulanması, çarpıklık ve basıklık değerlerinin

kabul edilebilir sınırlar içinde yer almasından dolayı verilerin normal dağılım sergilediği koşulu sağlanmaktadır. Regresyon analizinin diğer bir koşulu olan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için ise Pearson's Korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.17).

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin normal dağılım sağladığı koşullarda Pearson's Korelasyon analizi sıklıkla uygulanmaktadır. Korelasyon katsayısı bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini açıklayan istatistiksel bir yöntemdir. -1 ve +1 aralığında değer alan korelasyon katsayısına göre +1'e yaklaşan korelasyon pozitif yönde yüksek ilişki olduğunu gösterirken, -1'e yaklaşan değer negatif yönde güçlü bir ilişkinin varlığını açıklamaktadır (Akdeniz, 2010). MLR analiz sonuçları stepwise regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Bu sayede toprak karbonunu açıklayan en önemli çevresel değişkenler regresyon modeline uygulanmıştır.

Çizelge 4.17. TOK ve yardımcı değişkenler için Pearson's korelasyon değerleri

Yardımcı Değişkenler		Calcaric Regosols	Calsisols Leptosols	Cambic Vertic Calsisols	Cambisol Leptosols	Chromic Cambisols	Chromic Luvisols	Eutric Fluvisols	Leptosol Cambisols	Lithic Leptosols	Rendzic Leptosols
X	r	0.037	0.272	0.486	-0.122	-0.105	0.075	0.095	0.105	0.484	0.032
	p	0.186	0.368	0.242	0.441	0.395	0.229	0.284	0.077	0.037	0.199
Y	r	0.089	-0.180	-0.344	-0.199	0.113	0.211	0.117	0.223	0.489	0.081
	p	0.041	0.476	0.849	0.349	0.100	0.036	0.231	0.010	0.036	0.040
DEM	r	0.239	0.463	-0.357	0.021	-0.422	0.621	0.156	0.236	-0.131	0.217
	p	0.001	0.206	0.037	0.005	0.046	0.000	0.162	0.008	0.196	0.001
Eğim	r	0.422	0.432	-0.066	0.041	0.271	0.079	-0.083	0.235	-0.073	0.327
	p	0.000	0.228	0.376	0.102	0.008	0.217	0.359	0.008	0.521	0.000
Baki	r	0.102	0.963	-0.032	-0.156	-0.433	0.241	-0.058	0.238	-0.179	0.073
	p	0.029	0.003	0.491	0.456	0.485	0.024	0.429	0.004	0.385	0.052
NDVI	r	0.113	-0.229	-0.103	0.112	-0.380	-0.442	0.231	0.104	0.160	0.137
	p	0.021	0.410	0.180	0.006	0.299	0.490	0.082	0.078	0.286	0.007
Kapalık	r	0.145	0.402	-0.025	0.049	0.428	0.172	0.332	-0.018	0.185	0.129
	p	0.009	0.005	0.408	0.073	0.321	0.062	0.031	0.491	0.247	0.009
NPP	r	0.034	0.034	0.010	0.079	0.064	-0.051	-0.230	-0.011	-0.072	0.032
	p	0.207	0.066	0.491	0.022	0.224	0.481	0.417	0.419	0.486	0.195
Biyokütle	r	0.115	0.000	0.382	0.136	0.057	-0.335	-0.524	0.060	0.301	0.127
	p	0.020	0.000	0.008	0.002	0.221	0.461	0.564	0.182	0.126	0.010
Döküntü	r	0.065	0.402	0.457	0.070	-0.383	-0.254	-0.604	-0.027	-0.143	0.045
	p	0.081	0.005	0.057	0.032	0.337	0.086	0.020	0.194	0.464	0.126
Sıcaklık	r	0.211	0.678	-0.354	0.017	0.687	0.630	0.153	0.249	-0.096	0.191
	p	0.002	0.047	0.030	0.303	0.045	0.000	0.166	0.006	0.403	0.002
Solar	r	0.288	0.376	-0.352	0.035	0.157	0.642	0.157	0.170	0.042	0.001
	p	0.000	0.271	0.002	0.131	0.051	0.000	0.161	0.024	0.468	0.000
Yağış	r	-0.015	-0.253	0.079	-0.123	0.155	-0.343	-0.567	0.075	-0.171	-0.018
	p	0.491	0.091	0.440	0.349	0.051	0.268	0.492	0.135	0.383	0.231
CTI	r	0.037	0.070	-0.035	-0.052	-0.304	0.126	0.171	0.001	0.374	-0.010
	p	0.188	0.073	0.405	0.418	0.094	0.115	0.141	0.900	0.018	0.489
GSI	r	0.096	-0.180	0.028	0.120	-0.195	0.122	0.252	-0.034	-0.063	0.124
	p	0.033	0.477	0.373	0.004	0.469	0.120	0.068	0.996	0.492	0.011
CI	r	0.084	-0.150	0.031	0.099	-0.424	0.329	0.03	-0.024	-0.136	0.071
	p	0.047	0.054	0.354	0.010	0.048	0.007	0.451	0.499	0.446	0.054
SAVI	r	0.123	-0.189	0.061	0.145	-0.435	-0.048	0.340	0.168	-0.057	0.144
	p	0.016	0.489	0.187	0.002	0.098	0.479	0.029	0.005	0.476	0.006
Su Uz.	r	-0.015	0.665	0.321	-0.154	0.631	0.466	-0.069	-0.034	-0.118	0.020
	p	0.497	0.009	0.001	0.010	0.226	0.001	0.498	0.490	0.071	0.314
KFak	r	-0.018	0.527	0.158	-0.111	-0.049	-0.094	-0.077	-0.022	0.533	-0.019
	p	0.397	0.165	0.029	0.095	0.357	0.378	0.406	0.549	0.026	0.453

Çizelge 4. 18. WRB sınıfları bağımlı ve bağımsız değişkenler

	C (%)	DEM	Eğim	Bakt	NDVI	Kapalılık	NPP	Biyokütle	Dokümanı	Sıcaklık	Solar	Yağış	CTI	GSI	CI	SAVI	Su Uzaklık	K Fak
Calcicola	0.09	69	0.00	-1.00	-0.15	0.02	1.0	0.00	0.00	9.09	316.70	53.66	5.32	-0.13	1.01	-0.20	0	0.18
Calcicola	2.02	283	4.02	178.70	0.18	37.02	469.8	0.58	64.87	17.33	322.60	58.61	10.04	0.02	1.24	0.26	349	0.26
Calcicola	6.59	1583	41.40	358.60	0.46	99.88	694.0	121.42	640.50	18.75	352.00	59.72	17.91	0.09	1.45	0.66	4562	0.46
Calcicola	2.12	56	0.10	0.00	-0.16	0.00	19.0	0.00	0.00	17.48	316.60	58.30	5.65	-0.11	1.02	-0.25	0	0.00
Calcicola	2.37	179	5.12	196.50	0.19	24.97	531.4	8.38	52.25	18.13	321.00	60.53	8.22	0.02	1.26	0.28	3119	0.17
Calcicola	2.59	287	23.42	359.30	0.62	99.96	779.0	109.50	679.74	18.80	323.50	61.47	16.88	0.11	1.54	0.91	9294	0.45
Calcicola	0.12	53	0.00	-1.00	-0.20	0.00	1.0	0.00	0.00	7.16	316.60	49.98	5.31	-0.14	0.97	-0.29	0	0.00
Calcicola	1.56	340	4.81	174.90	0.16	29.26	478.3	8.86	58.90	17.04	323.90	59.39	8.71	0.02	1.24	0.25	2415	0.22
Calcicola	4.34	1801	30.86	359.50	0.60	99.98	908.0	188.22	760.33	18.87	367.60	69.77	21.20	0.13	1.54	0.91	10256	0.59
Calcicola	0.15	56	0.00	-1.00	-0.27	0.00	1.0	0.00	0.00	5.29	316.80	45.82	4.91	-0.13	0.96	-0.39	0	0.00
Calcicola	1.88	723	7.32	171.77	0.19	44.26	491.2	16.14	116.05	14.44	331.30	58.32	7.99	0.02	1.27	0.29	2468	0.22
Calcicola	5.53	2065	51.70	359.82	0.61	100.00	931.0	226.31	764.10	18.86	365.90	69.14	21.35	0.16	1.63	0.90	8426	0.71
Calcicola	0.09	96	0.00	-1.00	-0.19	0.00	45.0	0.00	0.00	6.97	320.20	45.96	4.91	-0.10	0.96	-0.29	0	0.00
Calcicola	1.23	1432	5.56	186.80	0.16	63.10	381.5	4.53	78.74	9.37	342.60	53.91	8.65	0.06	1.30	0.24	2758	0.17
Calcicola	2.62	1823	52.21	359.50	0.63	100.00	909.0	209.24	767.92	18.51	361.80	70.41	17.91	0.17	1.56	0.95	8983	0.42
Calcicola	0.28	153	0.10	0.00	-0.13	0.02	74.0	0.00	0.00	8.48	316.60	53.33	4.82	-0.01	0.98	-0.19	0	0.00
Calcicola	2.04	939	17.75	183.70	0.21	44.91	478.7	42.37	197.97	13.50	338.60	57.79	7.19	-0.01	1.26	0.31	2287	0.48
Calcicola	5.92	1832	59.60	359.90	0.49	99.59	881.0	221.27	766.61	18.13	364.20	61.64	18.18	0.11	1.53	0.72	6560	0.75
Calcicola	0.61	56	0.00	-1.00	-0.24	0.00	1.0	0.00	0.00	7.10	316.40	47.94	5.38	-0.14	0.92	-0.37	0	0.00
Calcicola	1.81	486	3.71	162.26	0.15	36.16	438.1	3.39	59.34	16.06	326.80	58.54	9.65	0.01	1.23	0.01	1531	0.26
Calcicola	6.59	2023	31.82	359.62	0.61	100.00	920.0	186.18	768.78	18.89	365.40	71.23	21.42	0.15	1.59	0.91	8946	0.71
Calcicola	0.15	75	1.23	0.00	0.02	0.00	7.0	0.00	0.00	5.77	317.70	45.42	5.15	-0.08	1.09	0.06	0	0.00
Calcicola	2.13	959	13.24	168.89	0.20	48.63	485.7	5.58	142.31	12.99	337.30	56.93	7.59	0.00	1.27	0.30	2579	0.22
Calcicola	6.20	2140	45.35	358.70	0.40	98.36	910.0	188.90	762.18	18.70	374.30	68.53	14.35	0.11	1.45	0.60	10340	0.40
Calcicola	0.40	75	0.52	0.00	0.02	0.00	7.0	0.00	0.00	5.72	317.00	45.42	5.03	-0.08	1.09	0.06	0	0.00
Calcicola	2.17	915	11.78	173.81	0.20	45.64	478.0	21.59	129.15	13.49	335.30	56.92	7.72	0.01	1.27	0.29	2421	0.22
Calcicola	3.82	2313	45.35	359.76	0.40	99.68	910.0	188.90	762.18	18.70	379.30	68.93	14.51	0.01	1.45	0.60	10340	0.60
Calcicola	0.09	99	0.10	0.00	0.08	0.22	339.0	0.00	0.00	17.68	320.10	59.82	5.95	-0.07	1.08	0.10	2135	0.00
Calcicola	2.02	166	6.44	125.47	0.20	20.80	467.7	6.72	37.07	18.16	322.10	60.14	7.72	0.01	1.26	0.30	3825	0.01
Calcicola	6.59	246	15.51	358.75	0.39	85.64	640.0	121.42	586.22	18.57	323.90	60.44	14.24	0.08	1.40	0.59	4794	0.30

Yardımcı (bağımsız) değişkenler arasında en güçlü değişkenler her WRB kategorisinde değişmekle birlikte genel eğilim incelendiğinde DEM, eğim, bakı, ortalama sıcaklık, solar radyasyon, NDVI, ağaç kapalılık yüzdesi verileri olarak öne çıkmıştır. Korelasyon analizlerinde TOK ile en düşük ilişkiler NPP, yağış, K faktör ve Landsat uydu görüntülerinden üretilen GSI, CI, SAVI değişkenleri olarak elde edilmiştir. Stepwise regresyon analizi ile üretilen TOK tahmini performans sonuçları Çizelge 4.19’de verilmiştir.

Çizelge 4.19.RK yöntemi stepwise regresyon model sonuçları

WRB Toprak Sınıfları	R ²	Adj R ²	Residual Std Error	Fstatistic	P value
Calcaric Regosols	0.7249	0.6450	1.259	9.066	0.00047
Calsisols Leptosols	0.7985	0.7939	0.015	7.800	0.00498
Cambic Vertic Calsisols	0.4277	0.3361	0.922	4.671	0.00593
Cambisol Leptosols	0.2977	0.2516	1.138	6.464	0.00021
Chromic Cambisols	0.7563	0.6751	0.381	9.311	0.00102
Chromic Luvisols	0.9140	0.8089	0.652	8.694	0.00153
Eutric Fluvisols	0.6089	0.3644	1.250	2.491	0.09070
Leptosol Cambisols	0.2061	0.2846	1.248	4.934	0.00027
Lithic Leptosols	0.5290	0.4371	1.272	5.753	0.00035
Rendzic Leptosols	0.6306	0.5580	1.264	8.683	0.00087

Regresyon modeli sonuçları genellikle düzeltilmiş R² değeri ile değerlendirilmektedir. Bu değer bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkeni açıklayabilme başarısını gösteren istatistiksel değer olarak nitelendirilir. Model başarıları her WRB kategorisinde farklı değerlerde elde edilmiştir. Çalışmada model başarısı üzerinde etki gösteren unsurlar, bağımlı ve bağımsız değişkenler arası korelasyon sonuçları ve WRB sınıflarının büyüklüğüdür. Tezin materyal bölümünde verilen WRB Toprak Sınıfları haritası ile regresyon model sonuçları karşılaştırıldığında alan sınırlarının küçük olduğu WRB sınıfları daha yüksek tahmin sonucu verirken, WRB sınıfları büyüdükçe modelin tahmin başarısı düşmektedir. Bu nedenle regresyon analizi bölgesel ve küçük alanlarda daha yüksek başarı gösterdiği ortaya konulmuştur. Elde edilen bu durum çalışma

alanının tek bir regresyon analizine göre modellenmemesinin tahmin doğruluğunu arttıran önemli bir faktör olma niteliğini desteklemektedir.

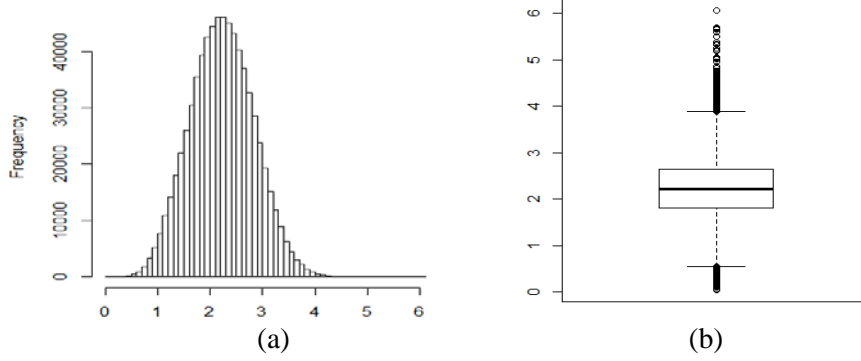
4.4.3.5. Variogram Analizi

Stepwise regresyon analizi sonuçları çalışma alanında seçilen yardımcı değişkenler ile uygulanmıştır. Örnek noktalarında gerçek değerler ve tahmin edilen değerler arasındaki farktan yararlanılarak GLS yöntemine göre artık değerler üretilmiştir. Artık değerler, gerçek ile tahmin arasındaki sapma değerlerinin belirlenmesi açısından önem taşıyan bir göstergedir. Analiz sonucunda elde edilen artık değerler önce deneysel variogramın sonra da variogram modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. WRB kategorileri için uygulanan 10 farklı variogram modeli Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

Deneysel variograma üssel (exponential) fonksiyon uygulanarak fitlenmiş variogram modelleri oluşturulmuştur. Bu variogram modellerinde elde edilen variogram parametreleri ise Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. WRB toprak sınıfları TOK artık değer variogram parametreleri

WRB Toprak Sınıfları	nugget	sill	range
Calcaric Regosols	0.883587	0.33	5118.381
Calsisols Leptosols	1.316513	0.27	44192.46
Cambic Vertic Calsisols	1.288527	0.34	15327.78
Cambisol Leptosols	1.324588	0.36	17923.85
Chromic Cambisols	1.260011	0.32	20080.65
Chromic Luvisols	1.228278	0.46	10228.9
Eutric Fluvisols	1.279896	0.33	15113.03
Leptosol Cambisols	1.275531	1.54	9100.218
Lithic Leptosols	1.312594	0.34	27035
Rendzic Leptosols	1.254339	0.43	12133.02



Şekil 4.42. Regresyon Kriging TOK tahmin sonuçları (a) histogram, (b) kutu diyagramı

RK yöntemi ile tahmin edilen TOK haritasına ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.21’de verilmiştir. Buna göre alanda su yüzeylerine ait sıfır değeri hariç tutulduğunda toprakta tahmin edilen en küçük TOK değeri %0.043 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.21’de çarpıklık ölçütü > 0 olduğundan veriler pozitif yönde sağa çarpık özellik göstermektedir. Bulgulardaki basıklık ölçütü > 0 elde edildiğinden verilerin normalden sivri ve homojen dağılımlı olduğu ifade edilebilir.

Çizelge 4.21.TOK tahmin sonuç parametreleri (%)

İstatistiksel Parametre	Değerler
En küçük	0.000
En büyük	6.066
Ortalama	2.230
Standart Sapma	0.603
Basıklık	2.816
Çarpıklık	0.087
1st Qu.	1.809
Medyan	2.224
3rd Qu.	6.643

Elde edilen sonuçların alandaki WRB toprak sınıfları için ortalama toprak karbonu değerleri Çizelge 4.22 verilmiştir. Buna göre alanda en yüksek TOK ortalamasına sahip WRB toprak sınıfı Lithic Leptosoller olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki Lithic Leptosoller BTG özellikleri yönü ile kahverengi orman toprağına tekabül etmektedir. Bu topraklar çalışma alanının en yüksek kesimlerinede bulunan karstik alanda yer almaktadır. Lithic Leptosol sınıfından sonra en yüksek TOK ortalamasına sahip toprak sınıfı alanın büyük bölümünde yer alan Leptosol Cambisol sınıfıdır. Çalışma alanında Leptosol Cambisol alanları BTG kategorileri altında kireçsiz kahverengi orman toprağı ve kahverengi orman toprağı özelliğı göstermektedir. Bu yönü ile orman örtüsü altındaki toprakların diğer sınıflara kıyasla daha yüksek düzeyde karbon depoladığı gözlenmiştir. Çalışma alanındaki orman alanları Leptosol Cambisoller, Chromic Luvisoller ve Cambisol Leptosol WRB toprak sınıflarında yayılım göstermektedir. Bu toprak sınıfların RK TOK modelleme sonucunda en yüksek değerler aldığı Çizelge 4.22'de dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.22. WRB sınıflarına göre TOK değerleri (%)

WRB Sınıfları	En küçük	En Büyük	Range	Ortalama	STD
Calcaric Regosols	0.561	3.183	2.623	1.519	0.398
Calcisols Leptosols	0.949	3.260	2.311	2.078	0.348
Cambic Vertic Calcisols	0.256	3.516	3.260	1.667	0.483
Cambisols Leptosols	0.425	5.378	4.953	1.957	0.526
Chromic Cambisols	0.380	4.158	3.778	1.799	0.531
Chromic Luvisols	0.266	5.041	4.776	2.233	0.603
Eutric Fluvisols	0.289	5.660	5.370	1.571	0.448
Leptosols Cambisols	0.044	6.066	6.022	2.326	0.580
Lithic Leptosols	0.581	4.959	4.378	2.495	0.454
Rendzic Leptosols	1.627	2.761	1.134	2.182	0.209

TOK değeri en küçük olan WRB sınıfı Calcaric Regosoller ve Eutric Fluvisoller olarak öne çıkmaktadır. Yaklaşık ortalama %1.5 düzeyinde TOK özelliğı gösteren bu sınıflar alanın güney kesiminde tarım alanlarında yayılım göstermektedir.

En yüksek ortalama TOK değerleri Saimbeyli (%2.63), Feke (%2.34), Pozantı (%2.32) ve Aladağ (%2.24), Karaisalı (%2.01) ve Tufanbeyli (%2.05) ilçelerinde elde edilmiştir. Alanda en düşük ortalama TOK değeri ise İmamoğlu

(%1.44) ve Yüreğir (%1.83) ilçelerinde elde edilmiştir. İlçeler düzeyinde tahmin edilen sonuçlar ekosistem verimliliğinin artırılması amacıyla hangi ilçelerde ormanlaştırma ve teşviklerin gerçekleştirilmesine hizmet etmesi açısından önemli bir bulgudur.

Çizelge 4.23. Farklı orman ağacı türleri ve TOK değeri (%)

Orman türü	En Küçük	En Büyük	Ortalama	STD
Ardıç	0.000	4.685	2.461	0.502
Fıstık Çamı	1.194	2.848	2.091	0.302
Gökmar	0.853	4.767	2.816	0.469
Karaçam	0.000	5.505	2.707	0.536
Kayın	1.668	3.936	2.808	0.504
Kızılçam	0.000	6.066	2.271	0.513
Meşe	0.000	4.223	2.369	0.532
Sedir	0.000	5.041	2.690	0.526
Yapraklı Türler	0.000	4.539	2.369	0.675

Bu doğrultuda araştırma alanının güney kesiminde en düşük TOK değerleri gözlenirken, en yüksek değerler Aladağ'dan Saimbeyli'ye uzanan güneybatı-kuzeydoğu ekseninde gözlenmektedir. Alanın biyofiziksel özellikleri bakımından yükseklığın azalması, sıcaklığın artması, tarım alanları ve ormansız alanların bileşimi olan bölgelerde TOK değerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek değerler ise özellikle yükseklik artışının olduğu, sıcaklığın güney kesimine göre görece azaldığı, orman çeşitliliğinin arttığı ve yaygınlaştığı alanlardır. Bu anlamda yüksek TOK düzeyinin orman varlığı, orman çeşitliliği, biyokütlenin artışı ve dolayısı ile döküntü aracılığı ile toprağa karışan organik madde ve organik karbonun depolanmasını olumlu yönde etkilediği bu çalışmada da kanıtlanarak ortaya konulmuştur. Orman varlığı, orman çeşitliliği ve optimal iklim bileşenleri topraktaki karbon depolanma kapasitesini arttıran önemli bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Tahmin edilen TOK analiz sonuçlarının orman türleri düzeyinde karşılaştırılması için EK-1 haritasından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23'de gösterilmiştir.

TOK bulgularına göre alanda depolanan toprak karbonu ek yüksek göknar ve kayın ormanlarında elde edilmiştir. Alanın kuzey kesiminde yükseklik arttıkça dağılım gösteren göknar ormanları (%2.81) ve kayın ormanları (%2.80) ortalama değeri ile en yüksek toprak karbonu depolama kapasitesine sahip ağaç türü olarak belirlenmiştir.

Araştırma alanında %22.81 oranında dağılım gösteren kızılçam ormanlarının diğer orman türlerine kıyasla daha düşük TOK depolama özelliğine sahip olduğu gözlenmiştir. Orman türleri arasında neredeyse en düşük kapasiteye sahip olan kızılçam türü, mera alanlarının depolama düzeyine yakın bir performans göstermektedir.

Her orman türü biyokütle, döküntü ve toprakta depoladığı karbon düzeyi bakımından aynı özelliklere sahip değildir. Bu doğrultuda doğal yollar ile karbon tutulumunun artırılmasına yönelik uygulama, proje ve ağaçlandırma çalışmalarında tez araştırma bulgularında üretilen farklı orman ağacı türü ve TOK ilişkisine ait sonuçlardan yararlanılabilir.

4.4.3.7. Model Validasyonu

RK model sonuçlarının performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için tüm toprak örnekleri eğitim (%75) ve test (%25) veriseti olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Model performans ve doğruluk değerlendirmesinden Ortalama Hata (Mean Error-ME) (Eşitlik 4.2), Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error-RMSE) (Eşitlik 4.3) ve korelasyon katsayısı (r) hata ölçüm yöntemlerinden yararlanılmıştır.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(s_i) - Z(s_i)] \quad (4.2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(s_i) - Z(s_i)]^2} \quad (4.3)$$

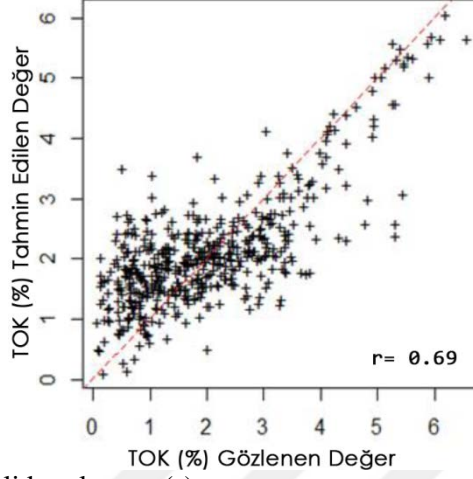
$\hat{Z}(s_i)$ tahmin değeri, $Z(s_i)$ toprak örnekleri ve N, validasyon nokta sayısını ifade etmektedir. RK yöntemi ile üretilen %TOK haritasına ait model performans sonuçları Çizelge 4.24'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.24. RK model performans değerlendirme sonuçları

	ME	RMSE	r
Regresyon Kriging TOK Haritası	0.822	0.906	0.69

Ekosistem hizmetleri kapsamında karasal karbon tutulumuna büyük ölçüde katkı sağlayan toprak karbon mekanizmasının tahmin edilmesi ve modellenmesi zor süreç içermektedir. Gelişen teknoloji ve uydu görüntüleri bu konuda büyük gelişmeler kat etse dahi modelleme çalışmalarında daimi belirsizliklerin bulunması olasıdır. Model belirsizliklerinin ölçütü ise yersel verilerin veya örneklerin gerçek ve model değerleri ile karşılaştırılması sonucunda elde edilmektedir. Daha yüksek açıklayıcı değişkenliğe sahip yardımcı değişkenler ile çalışmak bu doğrultuda daha büyük fayda sağlayacaktır.

Bu tez araştırması kapsamında araziden elde edilen toprak örnekleri raster formatında sürekli (continious) veri özelliği gösteren birçoğu uydu verilerinden üretilen ve farklı çalışmalara ait modelleme çalışmalarından temin edilebilen yardımcı değişkenler ile tahmin edilmiştir.



Şekil 4.43. RK modeli korelasyon (r) sonucu

Modelleme çalışmalarında yardımcı değişkenlerin sayılarından ziyade toprak karbonu ile olan ilişkileri daha büyük önem taşımaktadır. WRB sınıflarına ait veri setleri altında toprak karbonu ve yardımcı değişkenlerin arasındaki ilişkiler genel olarak beklenen düzeyde olmadığı için bu durum model sonuçlarına da yansımaktadır. Bu nedenle model sonucunda korelasyon katsayısı (r), 0.69 tahmin edilmiştir (Şekil 4.43). Ancak bu konuda yapılan farklı literatür araştırmaları incelendiğinde tez kapsamında elde edilen r düzeyinin düşük olmadığı göze çarpmaktadır. Nitekim özellikle toprak karbonu ile ilgili yapılan çalışmaların birçoğunda r düzeyi 0.80 düzeyinde veya daha altında tahmin edildiği gözlenmiştir.

4.4.3.8. Toprak Organik Karbon (TOK)

Toprak oluşumu çok fazla faktör ile yapısal özellik kazanmaktadır. Üzerinde çok fazla faktörün etkili olması topraktaki karbonun tahmin edilmesi sürecini zorlaştırmaktadır. Bu doğrultuda hem karbon birikimini etkileyen faktörlerin kullanılabilmesi hem de toprak örneklerinin konumsal ilişkisinin kullanılabilmesi RK yöntemi giderek yaygınlaşmaktadır. Araştırma kapsamında arazinin tümünden toprak örneğinin toplanmasının mümkün olmaması nedeniyle gidilemeyen

Bu çalışmada 0-30 cm derinlikteki toprakta toplam 61.637 TgC depolandığı tahmin edilmiştir. Karbon tahminlerinin karşılaştırılabilmesi için ülkemize yönelik genel ve bölgesel araştırmalar incelenmiştir. Amthor (1998) küresel düzeyde karbon depolarına yönelik gerçekleştirdikleri araştırmada Türkiye'ye ait topraklarda depolanan toplam karbon değerini 2.526 Pg (2526 Tg) tespit etmiştir. Aydın ve ark. (2016) Türkiye'ye yönelik gerçekleştirdikleri araştırmada 0-20 cm toprak derinliğinde 2.23 Pg değerinde karbon depolandığını ifade etmiştir. Ülkemizde bölgesel ölçekte Göksu Havzası'nda Berberoğlu ve ark. (2014b) tarafından yapılan araştırmada toprakta depo edilen karbon kapasitesi 92.401 TgC düzeyinde belirlemiştir. Buna ek olarak Adana ilini kapsayan 17253 km²'lik alanda Sakin ve ark. (2010), 0-100 cm derinlikte ve 73 toprak örneği ile toprakta depo edilen toprak organik karbon değerini 168.37 Tg olarak saptanmıştır.

Elde edilen TOK içerik sonuçlarının alandaki WRB toprak sınıfları için ortalama değerleri Çizelge 4.25'te verilmiştir. Buna göre alanda en yüksek TOK içeriği (MgCha⁻¹) ortalamasını sahip Lithic Leptosol ve Leptosol Cambisol sınıfında belirlenmiştir. TOK içerikleri büyük ölçüde % TOK değerine sahip olduğundan % TOK değeri yüksek olan toprak sınıflarında TOK içerikleri de yüksek elde edilmektedir. Bu bakımdan bulgular % TOK değeri ile paralellik göstermektedir.

Çizelge 4.25. WRB sınıflarına göre TOK içerik değerleri (MgCha⁻¹)

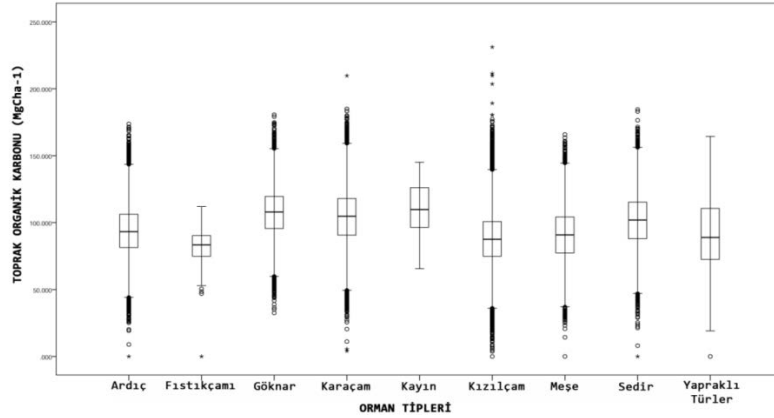
WRB Sınıfları	En küçük	En Büyük	Ortalama
Calcaric Regosols	21.355	121.277	58.728
Calcisols Leptosols	36.448	125.185	79.817
Cambic Vertic Calcisols	9.844	138.189	65.267
Cambisols Leptosols	16.689	211.354	75.717
Chromic Cambisols	14.137	158.416	67.805
Chromic Luvisols	9.727	184.519	81.772
Eutric Fluvisols	11.030	215.640	59.821
Leptosols Cambisols	2.383	231.121	89.775
Lithic Leptosols	22.471	188.930	95.981
Rendzic Leptosols	64.927	110.174	86.975

Farklı orman ağacı türlerinin altındaki karbon depolama özelliklerinin karşılaştırılması için TOK içerik haritası ve EK-1'deki 2014 AÖ/AK haritasından yararlanılmıştır (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.26. Farklı orman ağacı türleri ve TOK İçerik değerleri (MgCha⁻¹)

Orman türü	En Küçük	En Büyük	Ortalama
Ardıç	0.000	173.755	93.847
Fıstık Çamı	46.921	111.916	82.141
Gök nar	32.503	180.617	107.665
Karaçam	0.000	209.734	104.072
Kayın	65.559	154.697	110.359
Kızılçam	0.000	231.121	87.824
Meşe	0.000	165.824	90.530
Sedir	0.000	184.519	102.910
Yapraklı Türler	0.000	178.381	91.151

RK yöntemi üretilen TOK haritası sonuçları orman türleri ile ilişkilendirildiğinde en yüksek TOK değeri göknar ve kayın türü altındaki topraklarda gözlenmiştir. (Şekil 4.50).



Şekil 4.45. Farklı orman ağacı türleri ve ortalama TOK İçerikleri kutu diyagramı

Kayın ağaçları altında yer alan toprak tekstür yapısının Killi Balçıklı özellik göstermesi BD değerinin daha yüksek olmasını sağlamıştır. Dolayısıyla küçük bir

alanda yüksek TOK değeri ve yüksek BD değerine sahip kayın türü altındaki topraklarda $110.359 \text{ MgCha}^{-1}$ tahmin edilmiştir. Kayın türünün hem biyokütle hem de toprakta depo edilen karbon değerinin yüksek değer göstermesi karbon depolaması ve küresel iklim değişimine katkı sağlaması açısından önem teşkil etmektedir. Kayın ormanlarının doğal yayılışı Doğu Karadeniz Bölgesi'dir. Yetiştirme koşulları bakımından nemli bölgeler ve kuzey bakılı yamaçlarda bulunmaktadır. Bu nedenle kayın ağaçları Akdeniz Bölgesi'nde yer alan araştırma alanında oldukça az dağılım göstermektedir. Araştırma alanında Kayın ağaçları 1700 m yükseklikten itibaren çoğunlukla kuzey bakılı yamaçlarda yer almaktadır. Bu bölgeler genel olarak sıcaklıkların azaldığı, yağışın fazlaştığı kısmen nemli bölge özelliği göstermektedir. Ayrıca Kayın ağaçlarının ağaç kapalılık yüzdesinin yüksek olması döküntü miktarının artması, dolayısıyla toprağa karışan organik maddenin artmasını sağlamaktadır. Organik maddenin artmasına ek olarak sıcaklığın azalması ve kuzey bakılı yamaçlar toprağa karışan organik karbonun ayrışma hızını yavaşlatmaktadır. Alanda nemin artışı ve sıcaklığın azalması karbon tutulumunu arttıran önemli bir faktördür.

Kızılçam ormanları ışık ihtiyacı yüksek olan ormanlardır. Bu türün optimal gelişimi için %70 ve üzerinde ışık alması gereklidir. Tam olarak kurakçıl bir tür olmayan ancak kuraklığa dayanıklı bir tür olan Kızılçam ormanları güney bakılı yamaçlarda kuzey bakılı yamaçlara göre biyokütle verimi bakımından daha verimlidir (Atalay 2015). Buna ek olarak killi ve killi balçıklı topraklarda derin kök yaparak optimal yetiştirme koşullarına uyum sağlamaktadır. Araştırma alanının karakterinde büyük etkiye sahip Kızılçam ormanları genel yayılış alanının büyük olması itibari ile orman biyokütlesi ve toprakta depolanan karbon değerine ait toplam karbon depoları bakımında en yüksek değere sahiptir.

4.4.4. Döküntü (Ölü Örtü)

Berberoğlu ve ark. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada beş farklı meşcere için kurulan tuzaklar bitki örtüsünün en yüksek kapalılık düzeyine sahip olduğu konumlara kurulmuştur. Tuzaklar, ağaçlardan dökülen döküntünün toplanabilmesi için yerden 90 cm yükseklikte 50 cm x 50 cm genişlikteki örnek toplama mekanizmalarıdır. Tuzaklardan elde edilen örnekler en üst düzeyi temsil edecek düzeyde modellenmiş ve tüm alandaki döküntü miktarı modellenirken Regresyon Ağacı modeli ile üretilen ağaç kapalılık yüzdesi haritası ile ilişkisinden yararlanılmıştır. Modelleme çalışmasında Ikonos ve Landsat uydu görüntülerinden yararlanılmış ve model sonuçları 30 m çözünürlükte üretilmiştir. Bu doğrultuda arazi örtüsü sınıflaması, ağaç kapalılık yüzdesi ve döküntü miktarları aracılığı ile dört farklı mevsime ilişkin dört farklı döküntü modelleme sonucu elde edilmiştir. Dört farklı mevsime ait döküntü değerlerinin toplanması ile yıllık döküntü haritası elde edilmiştir. Elde edilen bu harita döküntü miktarının karbona dönüştürülmesi için 0.45 katsayısı kullanılmıştır. Elde edilen beş farklı meşcere için karbon üretim değeri Çizelge 4.27’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.27. Seyhan Havzası döküntü bileşeni karbon miktarı ($\text{MgCha}^{-1}\text{yıl}^{-1}$) (Berberoğlu ve ark. 2006)

Meşcere Türü	Döküntü C Düzeyi
Kızılçam (<i>Pinus brutia</i>)	187.72
Karaçam (<i>Pinus nigra</i>)	51.98
Ardıç (<i>Juniperus excelsa</i>)	24.59
Sedir (<i>Cedrus libani</i>)	20.65
Karışık meşcere (<i>Abies cilicica, Cedrus libani</i>)	131.0

Döküntü haritasında en yüksek değer 768.6 grCm^{-2} , ortalama değer 161.21 grCm^{-2} en düşük değer ise orman örtüsü olmayan alanlarda kapalılık yüzdesi 0 olduğundan döküntü değeri de 0 olarak elde edilmiştir. Çalışma alanında toplam döküntü karbon depolama değeri $1292 \text{ Mg C yıl}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.28. Türkiye'ye ait ekonomik parametreler

Parametre (birim)	Değer	Kaynak	Yıl
GSYH (trilyon USD)	0.48	(UNdata)	2005
Nüfus (milyon)	67.80	(WorldBank)	2005
Nüfus (milyon)	78.665	(WorldBank)	2015
Excess risk	0.02	(BDDK)	2005
Tasarruf oranı (%)	0.156	(WorldBank)	2005
Tasarruf oranı (%)	0.141	(WorldBank)	2015
Kişi başı GSYH ortalama	3.19	(WorldBank)	1995-2005
Kişi başı GSYH ortalama	2.76	(WorldBank)	2005-2015
CO ₂ emisyonu (MgT ³)	64.737	(CDIAC)	2005

Çizelge 4.29. RICE model parametreleri - 2005 (RICE2010)

Parametre (birim)	Değer
Delta	0.10
Alfa	0.30
Omega	10
Sermaye Payı	0.30
Toplam Zarar Fraksiyonu	0.0011
Amortisman	0.1
Tüketimin marjinal esnekliği	1.5
Sosyal zaman tercihi faktörü	1
Zaman tercihinin sosyal oranı	0.015
Endüstrileşme sonrası sıcaklık artışı (2005) (°C)	0.83
Endüstrileşme sonrası sıcaklık artışı (2015) (°C)	0.98
Sıcaklıktaki zarar katsayısı	0.0018
Sıcaklık karesindeki zarar katsayısı	0.0023
Zarar üssü	2
Katastrofik zarar eşik değeri	4

RICE model tasarımı, baz alınan zaman dilimi ve bu zaman dilimine ait ekonomik ve küresel jeo-fiziksel parametreleri kullanarak geleceğe yönelik tahminler üretmeyi hedeflemektedir. Geçmiş zaman dilimindeki parametreleri girdi olarak kullanarak güncel ve çok uzun bir zaman dilimine ait ara ve hedef değişkenler tahmin edilebilmektedir. Model geçmiş zaman verisetini baz alarak refah fonksiyonuna giden süreçte güncel ve gelecek projeksiyonu tahmin

³ MgT= 1000000 Ton

etmektedir. Geçmiş veri seti ile güncelin hesaplanması modelin kalibrasyonunun sağlanmasına da hizmet etmektedir. Karbonun Sosyal Maliyeti bölümünde aktarıldığı üzere zaman tercihi fonksiyonunun hesaplanabilmesi için iki farklı zaman dilimine ait marjinal faydanın kullanılması zorunludur. Bu nedenle baz alınan yılın ekonomik ve emisyon değerleri temel alınarak modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. RICE modeli son güncellemesini 2010 yılında gerçekleştirdiği için bu tez çalışmasında 2005 baz yılı alınarak 2015, 2025, 2035, 2045 ve 2055 yıllarına ait karbonun sosyal maliyeti hesaplanmıştır. Üretilen tüm karbon sosyal maliyet sonuçları 2005 fiyatına dayandırılarak tahmin edilmektedir. Modelin 2010 yılına ait oluşu, model kurgusunun 2005 yılından başlatılması, ülkesel ve küresel ekonomik girdilerin 2005 satınalma gücü paritesi (purchasing power parity-ppp) ile standartlaştırılması, ülkemize ait 2015 yılı CO₂ emisyon değerlerinin yayınlanmamış olması sebebi ile model sonucunda üretilen SCC birimi, 2005 US doları (USD) olarak hesaplanmıştır. Ülkemize yönelik son CO₂ emisyon salınım verileri 2014 yılına aittir. RICE modeli sürecinde model geliştiricisinin üzerinde durduğu en hassas konulardan biri verilerin zamansal standardizasyonudur. Model küresel düzeydeki tüm ekonomik ve jeo-fiziksel süreçlerini 2005 verilerine dayandırarak uygulamıştır. Nitekim ülkemize yönelik emisyon değerinin 2014, ekonomik değerlerinin 2015 ve modelde geçen küresel değer 2005 yılına ait olarak hesaplanması yanlış sonuçlar üreteceği için bu yol izlenmemiş, modelde kullanılan tüm veri seti 2005 yılı değerleri ile hesaplanmıştır. RICE model sonuçlarına göre 2015 yılına ait ara çıktılar Çizelge 4.30'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.30. RICE modelinde üretilen sonuç parametreleri (2015)

Parametre (birim)	Değer
Sermaye (trilyon USD)	1.029
Toplam Faktör Verimliliği (TPF)	4.20
TFP büyümesi	0.021
İklim zararı ve azaltımın brüt çıktısı (trilyon USD)	0.7138
İklim Zararı (trilyon USD)	0.002
İklim ve azaltım sonrası net çıktısı (trilyon USD)	0.712
Sigma	0.1198
Tüketim (trilyon USD)	0.6120
Kişi başı tüketim (bin USD)	7773
Toplam emisyon (GTC)	0.0856
Tüketimin marjinal faydası (MU)	0.046
İndirgeme oranı-discount rate(%)	0.055
TCS	0.000006
d(Dam)/dE	0.000002
D(damages)/dT	0.4806

*Parasal değerler tüm 2005 yılı dolar ait satınalma gücü paritesi (ppp) ile ölçütlendirilmiştir.

Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC) değeri atmosfere eklenen her 1 ton CO₂ için belirlenen ekonomik bedel olarak hesaplanmaktadır. Karbondioksitin karbona dönüştürülmesinde ise 3.66 katsayısı kullanılmaktadır. Birim karbondioksitten yola çıkarak birim karbonun fiyatının hesaplanması için CO₂ atomik biriminin C atomik birimine dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Bunun için CO₂'nin molekül ağırlığının C'nun molekül ağırlığına oranı olan 44/12= 3.66 değeri kullanılmaktadır (Brander, 2012; EPA, 2017; Görücü ve Eker, 2009; Nordhaus, 1991; Nordhaus ve Sztorc, 2013; Şener, 2015).

Ülkemize uyarlanan RICE2010 model sonucuna ilişkin karbonun sosyal maliyeti çıktıları Çizelge 4.31'de gösterilmektedir. Bu doğrultuda ülkemizde tüketim ile ilişkili olarak insan ve endüstri kökenli CO₂ emisyonunun 1 tona ait birim fiyatı belirlenmiştir. Çalışmada gelecek projeksiyona yönelik maliyet tahminlerinin üretilmesinin temel sebebi ekosistem hizmetleri kapsamında ele alınan karbon tutulumu hizmetinin gelecek zaman dilimine ait ekonomik değeri bugüne indirgeme prensibidir. Model geri beslemeli olarak çalışmaktadır. Öncelikle gelecek projeksiyona ait ekonomik bir değer hesaplanarak belirlenen indirgeme

oranı doğrultusunda Net Şimdiki Değer (Net Present Value-NPV) tahmin edilmektedir. NPV yaklaşımı, bir yatırımdan gelecekte elde edilecek faydaların indirgenmiş bugünkü değerinin hesaplanmasıdır (Altunkasa, 2013). Bu yöntem genellikle bir yatırım veya projenin gelecekteki durumunu bugünkü ekonomik değeri ile ortaya konulması ile kar ve zarar durumunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. InVEST modelinde karbon tutulumunda gelecek projeksiyon zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle gelecekteki karbonun sosyal maliyetinin de belirlenmesi sağlanmıştır. InVEST modeli gelecek ve güncel arasındaki karbon depolama farkının hesaplanmasında indirgeme oranını kullanarak gelecekte gerçekleşmesi olası karbon tutulumunun fiyatını gelecek değerinden bugüne indirmektedir. Bu doğrultuda RICE2010 model tahminine göre elde edilen karbonun sosyal maliyeti (SCC) ve indirgeme oranı sonuçları Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. RICE modeli SCC ve indirgeme oranı tahmin sonuçları

Projeksiyon	SCC (USD)	İndirgeme Oranı (%)
2015	3,20	%5.5
2025	7,48	%4.8
2035	17,91	%7.0
2045	28,59	%6.0
2055	40,04	%5.4

*Parasal değerler tüm 2005 yılı dolar ait satınalma gücü paritesi (ppp) ile ölçütlendirilmiştir.

Tez çalışması öncesi ve sırasında yapılan araştırmalar sonucunda ülkemize ait karbonun sosyal maliyetine yönelik herhangi bir değer bulunamamıştır. Bu yönü eksik yönü kapatması ve ülkemize ait güncel ve gelecek karbon sosyal maliyetini belirlemesi bakımından bu çalışmanın önem arz ettiği ifade edilebilir.

Çizelge 4.32. Ülke veya bölgelerin SCC (USD), indirgeme oranı (%) ve MU(c)⁴ (Nordhaus, 2011)

Ülkeler	SCC (2015)	İndirgeme	MU(c)
US	3,60	%7.1	0.004
Avrupa Birliği	4,11	%6.8	0.008
Japonya	0,78	%7.2	0.006
Çin	10,4	%2.1	0.059
Hindistan	7,98	%3.8	0.229
Orta Doğu	3,36	%5.3	0.040
Afrika	7,83	%4.6	0.415
Gelişmekte olan ülkeler	6,29	%5.7	0.221

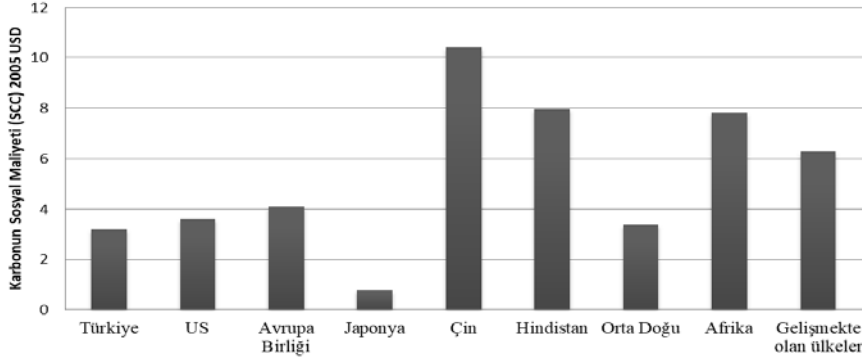
*Parasal değerler tüm 2005 yılı dolar ait satınalma gücü paritesi (ppp) ile ölçütlendirilmiştir

Ülkemizde orman ekosistemi ekonomik değerlendirme üzerine yapılan çalışmalar küresel düzeyde tahmin edilen uluslararası literatür araştırmaları veya karbon borsalarındaki güncel fiyatlar üzerinden fayda transferi aracılığı ile uygulanmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında üretilen karbonun sosyal maliyeti ile ülkemizdeki çalışmalar arasında herhangi bir karşılaştırma söz konusu olmamıştır. Bu doğrultuda tez bulgularında elde edilen ekonomik çıktılar ile Nordhaus (2011) tarafından üretilen araştırma çıktıları arasında değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Bu noktada Çizelge 4.31 ve Çizelge 4.32 arasında 2015 yılı karbonun sosyal maliyeti ve indirgeme oranı çıktılarının karşılaştırılması sağlanmış ve bulgular yorumlanmıştır (Şekil 4.47)

Nordhaus (2011) çalışmasına göre en yüksek karbon sosyal maliyeti Çin ve Hindistan'da elde edilmiştir. Bu sonucun temel sebebi bu ülkelerin gelecekteki ara çıktıların oldukça yüksek olmasından kaynaklıdır. Ara çıktılar indirgenmiş GSYH ile büyük ölçüde ilişkilidir. Üretim kapasitesi, sermayesi, CO₂ emisyonu yüksek düzeyde olan ülkeler emisyon azaltım mekanizması için az düzeyde harcama gerçekleştirir ve kişi başı tüketim miktarı düşük düzeyde ise marjinal fayda yükselmektedir. Marjinal faydanın bugünkü değerinin geleceğe kıyasla yüksek olması tüketim tercihlerinin büyük ölçüde şimdiki zamanda

⁴ MU(c): tüketimin marjinal faydası

gerçekleşeceğini işaret etmektedir. Bazı kaynaklar bireysel tüketimin gelecek yerine bugün tercih edilmesini sabırsızlık ölçütü olarak nitelendirmektedir. Tüketim tercihinin gelecek yerine bugünü işaret etmesi geleceğe yapılacak olası yatırımların azaltılarak indirgeme oranının düşmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda Çin ve Hindistan ekonomisine ait GSYH yüksek olmasına rağmen nüfus faktörü kişi başı tüketiminin az olmasına neden olmaktadır. Kişi başı tüketimin azalması tüketimin marjinal faydasının artmasına ve dolayısı ile bugünün tüketim tercihlerinin artmasına neden olmaktadır. Bugünün tüketim artışı indirgeme oranının azalması, doğal kaynakların azalması ve küresel iklim değişikliği etkisinin artışı işaret etmektedir.



Şekil 4.47. RICE model çıktılarının ülke düzeyinde karşılaştırmaları (2015 SCC)

Çin ve Hindistan'a ait karbon sosyal maliyeti çıktılarının Amerika ve AB ülkelerine kıyasla yüksek sonuçlanması dikkat çekicidir. Nitekim bahsi geçen ülkelerin üretim eksenleri ve dünya ekonomisindeki hakimiyetleri büyük ölçüde birbirlerine yakın biçimde ilerlemektedir. Bu noktada temel ayırım tüketimin marjinal faydasını belirleyen kişi başı tüketimdir. Çin ve Hindistan'ın Amerika ve AB ülkelerine göre kişi başı tüketimleri oldukça düşük olması nedeniyle indirgeme oranları Amerika ve AB ülkelerine göre düşük elde edilmiştir. Nitekim 2005 yılına ait kişi başı tüketim Çin'de 2.62 USD iken, Amerika'da 34.77 USD düzeyindedir. Kişi başı tüketim değeri bakımından Türkiye 6.000 USD düzeyi ile Çin ve

Amerika arasında yer almaktadır. RICE modeli çerçevesinde Türkiye'nin konumu kişi başı tüketim değeri ölçütü ile Latin Amerika (6.260 USD) ve Orta Doğu (6.243 USD) ile yakın değerler göstermektedir.

Model sonuçlarına göre Türkiye, sermaye ve GSYH göstergeleri bakımından Çin ve Hindistan'a göre çok geride olmasına rağmen nüfus faktörü nedeni ile kişi başı tüketimi bu ülkelere kıyasla daha yüksek düzeydedir. Ancak Amerika, AB ve Japonya gibi ülkelerinde oldukça gerisinde yer almaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin karbon sosyal maliyeti Çin ve Hindistan'ın oldukça altında ve Orta Doğu'ya ve Latin Amerika'ya oldukça yakın elde edilmiştir. Nitekim Türkiye ve Orta Doğu bölgesinin kişi başı tüketimi ve tüketimin marjinal faydası değerleri oldukça benzerlik göstermektedir. Gelişmiş ülkelere kıyasla ülkemizin sahip olduğu marjinal fayda değerleri yüksek düzeydedir. Bu açıdan Çin ve Türkiye'yi kıyaslamak oldukça zordur. Çünkü ekonomik dinamikleri, sahip oldukları nüfus ve saldıkları CO₂ emisyon dinamikleri oldukça farklıdır. Bu nedenle güncel SCC değeri Çin'de karbon sosyal maliyeti 10,40 USD iken Türkiye'de 3,20 USD düzeyinde elde edilmiştir.

Modelleme sonucunda 2015 yılına ait indirgeme oranı %5.505 düzeyinde tahmin edilmiştir. Küresel iklim düzeyinde en tartışmalı konulardan biri olan gösterge indirgeme faktörüdür. Ülkemizde karbon ekonomisi konusunda yapılan çalışmalarda küresel düzeyde sıklıkla kabul gören %3, %5 ve %7 indirgeme oranları kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'ye ait ekonomik göstergelerin ve CO₂ emisyon verilerinin kullanılması ile ülkemize özgü karbon değerlemelerinde kullanılabilecek bir indirgeme oranı tahmin edilmiştir. Bu konuda ülkemizde yapılan başlıca çalışmalardan biri Halıcıoğlu ve Karataş (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye'ye yönelik yapılan çalışmada sosyal zaman tercihi oranı yaklaşımı kullanılarak indirgeme oranı %5.06 olarak üretilmiştir. Tez çalışmasında üretilen indirgeme oranı ile Halıcıoğlu ve Karataş (2013) tarafından üretilen indirgeme oranına benzer üretilmesi RICE modelinden elde edilen değerler ile paralellik göstermesi bakımından önemlidir.

I.Kyoto Protokolü döneminin beklenen düzeyde sonuç üretememesi ve ülkelerin birçoğunun taahhütlerini yerine getirmemesi sebebiyle küresel düzeyde azaltımın sağlanması için Paris Anlaşması söz konusu olmuştur. Türkiye'nin de taraf olduğu bu anlaşmanın temel amacı küresel düzeydeki sıcaklık artışlarının 2°C'nin altında tutulması için gerekli önlem ve uygulamaların geliştirilmesini sağlamaktır. 2016 yılında yüksek bir katılımı ile gerçekleşen Paris Anlaşması, Amerika ve Çin'in taraf olması ile küresel iklim değişimi açısından umut verici bir gelişme olmuştur. Ancak tez çalışması sırasında Amerika Birleşik Devletleri Başkanı D.Trump hükümeti resmi olarak Paris Anlaşması'ndan çekildiklerini kamuoyuna duyurmuştur. Küresel sera gazı salınımının azımsanamayacak bir bölümünün sorumlusu konumundaki Amerika'nın tutumu küresel ısınma tehdidinin mevcut eğilimi ile devam edeceği sinyali vermektedir. Bu durum küresel iklim değişimi etkilerinin azaltılması konusunda iyimser senaryolardan uzaklaşarak, antropojen etki ile artan CO₂ salınımının ekonomik zarar üzerindeki etkilerinin belirlenmesinin giderek önem kazandığını işaret etmektedir.

4.5. InVEST Model Sonuçları

Çalışmada her biri farklı ve hassas yöntemler ile üretilen: (i) Güncel ve gelecek AÖ/AK haritaları, (ii) karbon bileşenleri haritaları (toprak üstü biyokütle, toprak altı biyokütle, toprak ve döküntü), (iii) biyofiziksel tablonun tanıtılması ve (iv) karbonun sosyal maliyeti ve indirgeme oranı InVEST modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Her birinin farklı yöntemler ile üretildiği karbon bileşenleri Şekil 4.48'te gösterilmektedir. Model ilk aşamada 2025 ve 2055 yıllarına ait dört karbon bileşeninin konumsal haritalarını üretmiştir. İkinci aşamada 2014-2025 karbon depolama ve 2014-2055 karbon depolama fark haritalarını tahmin ederek gelecekte olası iki karbon tutulumu haritalarını oluşturmuştur. Son aşamada ise ΔC olarak isimlendirilen karbon tutulumu (depolama farkları), karbonun sosyal maliyeti ve indirgeme oranı kullanılarak gelecek projeksiyonda olası karbon tutulumunun ekonomik değerine ait konumsal değerlendirme haritaları modellenmiştir.

InVEST modeli kapsamında üretilen (i) 2025 ve 2055 toplam karasal karbon depolama, (ii) 2025-2014 ve 2055-2014 karbon tutulumu ve (iii) 2025 ve 2055 karbon ekonomik değerlendirme harita sonuçlarının yorumlanmasında alt ve mikro havzalar kullanılmıştır. ArcSWAT analizi ile oluşturulan alt ve mikro havzalar kırsal peyzaj planlama çalışmalarında ekosistem hizmetlerinin birbirleri ile kıyaslanması bakımından fayda sağlamaktadır. Modelleme çıktılarının yorumlanmasında kullanılan Şekil 4.6'da verilen alt-havza ve mikro-havza konum haritalarından yararlanılmıştır.

InVEST modeli çıktılarının ilk aşamasındaki toplam karasal karbon depolama ortalama değeri ve alt-havzadaki toplam depolama değeri her üç dönem için Çizelge 4.33'de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Toplam karbon havuzları ortalama (MgC) ve toplam (TgC) değerleri

Alt-havza	2014		2025		2055	
	Ortalama	Toplam	Ortalama	Toplam	Ortalama	Toplam
Egribük	8.725	5.344	8.961	5.480	9.076	5.552
Gökdere	9.086	17.795	9.229	18.069	9.418	18.439
Hacılıköprülü	9.122	3.272	9.365	3.355	9.465	3.391
Himmetli	8.339	14.170	8.397	14.236	8.598	14.581
Kılıçmehmet	7.930	4.116	8.134	4.218	8.349	4.330
Salbaş	7.645	1.755	7.693	1.759	7.782	1.781
Sarıahmetli	7.719	6.556	7.905	6.709	8.244	6.997
Seyhan Baraj B.	6.797	3.139	6.930	3.186	7.031	3.234
Üçtepe	9.230	12.914	9.390	13.124	9.578	13.385

Alt-havza ölçeğinde ortalama değerler incelendiğinde en yüksek ortalama sahip alt-havza Üçtepe olurken, en düşük ortalama sahip alt-havza Seyhan Baraj Bölgesi'nin olduğu gözlenmektedir. Alt-havzalar toplam karbon depolama değerleri açısından kıyaslandığında en yüksek toplam değer, Gökdere alt-havzasında elde edilmiştir. Birbirine komşu olan bu iki havzada Gökdere alt-havzası yüksek miktarda orman alanları dağılımına sahipken, Üçtepe alt-havzası daha az fakat daha yaşlı orman örtüsüne sahiptir. Ortalama ve toplam karbon

değeri bakımından en düşük değerleri gösteren Seyhan Baraj Bölgesi ise tarım alanlarının ve su yüzeyinin baskın olduğu AÖ/AK sınıflarına sahiptir. Araştırma alanının güney kesimini oluşturan bu bölgede orman alanlarının azlığı ve tarım alanlarının 1990'dan 2014 yılına yüksek artışı dikkat çekmektedir. Tarım alanlarının artışı karbon depolama ve karbon tutulum özelliklerini azaltan bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Bulgular doğrultusunda 2014-2025-2055 dönemlerine ait ortalama ve toplam karbon depolama değerleri en yüksek olduğu ilçe Aladağ olarak belirlenmiştir. Aladağ ilçesinin mekânsal çözünürlükte piksel başına ortalama karbon depolama miktarı 9.22 Mg iken toplam karasal karbon depolanma değeri 13.74 Tg düzeyinde elde edilmiştir. Aladağ ilçesi Üçtepe havzasını kapsayan ve orman yayılışının hakim olduğu bir peyzaj yapısına sahiptir. Üçtepe alt-havzası ve Aladağ ilçesinin genel peyzaj karakterinde kızılçam, karaçam, sedir ve ardıç ormanları bulunmaktadır. Bu ilçede tarım arazilerinin az olması, verimli orman dağılımının bulunması sebebi ile yüksek düzeyde karbon depolama özelliği sergilemektedir. Aladağ ilçesi verimli orman yapısı, yüksek döküntü ve toprakta biriken TOK değerleri ile araştırma alanının ekolojik açısından en verimli bölgesini oluşturmaktadır. Aladağ ilçesinin yanı sıra sırasıyla Feke, Saimbeyli, Pozantı ilçeleri de ortalama karbon depolama değerleri bakımından verimli ilçeler olarak öne çıkmaktadır. Alanda en düşük ortalama karbon depolama değerleri Yüreğir ve İmamoğlu ilçeleri olarak elde edilmiştir.

4.6.2. Karbon Tutulum Haritaları

InVEST sonuçlarına göre üretilen karbon tutulum haritaları ΔC ile temsil edilmektedir. Model çıktılarına göre karbon tutulum değerleri +2.02 ve -1.47 arasında değişim göstermektedir. Pozitif değerler karbon tutulumunun artacağını gösterirken, negatif değerler arazi örtüsü değişiminden kaynaklı karbon salınımının gerçekleşeceği alanları işaret etmektedir.

Çizelge 4.39. Mikro-havza karbon ekonomik değerlendirme sonuçları (USD)⁷

	2014	2014-2025	2014-2055
Mikro-havza	Σ Ekonomik Değerleme	Σ Ekonomik Değerleme	Σ Ekonomik Değerleme
Baraj-1	764.565	-9.951	38.805
Baraj-2	1.956.130	183.182	850.357
Baraj-3	1.289.930	65.806	274.222
Baraj-4	805.443	-85	102.577
Baraj-5	1.850.000	54.717	375.476
Baraj-6	1.430.200	42.747	202.039
Baraj-7	1.698.380	28.105	135.351
Egribuk-1	6.486.680	314.789	1.890.450
Egribuk-2	6.122.100	287.563	1.325.900
Egribuk-3	7.634.170	444.237	1.946.680
Gokdere-1	1.912.900	35.857	215.893
Gokdere-2	2.867.520	40.764	289.237
Gokdere-3	2.864.780	120.747	821.555
Gokdere-4	677.420	26.275	198.842
Gokdere-5	2.980.930	123.382	705.668
Gokdere-6	4.153.200	216.889	1.228.200
Gokdere-7	3.439.360	-3.922	484.699
Gokdere-8	1.870.750	55.436	407.945
Gokdere-9	8.218.940	119.726	688.903
Gokdere-10	2.109.880	-40.693	230.982
Gokdere-11	9.394.840	539.458	3.499.050
Gokdere-12	4.794.460	247.081	1.629.570
Gokdere-13	1.866.640	79.448	191.576
Gokdere-14	1.913.030	69.802	403.574
Gokdere-15	3.112.950	56.238	742.425
Gokdere-16	6.422.620	103.784	937.464
Hacikoprulu-1	2.698.570	106.376	477.460
Hacikoprulu-2	1.602.440	57.328	397.381
Hacikoprulu-3	1.472.340	109.417	366.905
Hacikoprulu-4	1.763.370	94.557	275.302
Hacikoprulu-5	1.762.140	93.354	247.126
Himmetli-1	992.649	5.860	145.788
Himmetli-2	2.582.360	11.682	125.169
Himmetli-3	3.624.330	-73.842	1.046.580
Himmetli-4	2.682.710	-8.360	420.538
Himmetli-5	3.483.500	25.714	1.037.750

⁷ Ekonomik değerlendirme tahminleri 2005 Satınalma Gücü Paritesi (ppp) ile ölçütlendirilmiştir.

Himmetli-6	1.364.500	42.775	327.106
Himmetli-7	6.522.820	65.231	2.091.350
Himmetli-8	5.490.750	124.444	671.929
Himmetli-9	591.005	22.845	83.281
Himmetli-10	714.564	10.120	101.977
Himmetli-11	2.520.400	58.556	218.183
Himmetli-12	196.102	9.466	15.095
Himmetli-13	5.647.490	171.797	688.714
Himmetli-14	2.678.320	45.482	428.179
Himmetli-15	6.432.680	51.163	680.500
Kilicmehmet-1	1.778.670	193.743	931.511
Kilicmehmet-2	3.651.280	169.674	1.247.320
Kilicmehmet-3	7.605.340	264.118	1.931.400
Salbas-1	2.424.010	32.736	402.599
Salbas-2	2.184.070	-26.709	78.934
Salbas-3	1.873.550	87.908	371.575
Sariahmetli-1	4.584.560	286.659	1.968.960
Sariahmetli-2	2.236.450	19.452	231.215
Sariahmetli-3	5.792.400	301.871	2.505.290
Sariahmetli-4	1.254.490	25.585	189.150
Sariahmetli-5	496.605	11.738	74.276
Sariahmetli-6	3.732.760	138.868	2.143.380
Uctepe-1	2.026.830	37.742	315.102
Uctepe-2	7.165.140	139.779	1.247.380
Uctepe-3	4.793.230	191.464	1.090.940
Uctepe-4	1.772.120	58.351	264.101
Uctepe-5	2.346.830	38.130	252.630
Uctepe-6	2.426.020	129.426	479.381
Uctepe-7	839.226	65.549	277.081
Uctepe-8	1.929.370	88.008	582.910
Uctepe-9	4.994.320	119.855	1.087.830
Uctepe-10	2.017.990	117.970	577.041
Uctepe-11	1.439.390	73.874	422.046
Uctepe-12	2.153.940	112.258	667.257
Uctepe-13	1.719.160	133.074	681.861
Uctepe-14	281.265	23.788	14.062
Uctepe-15	1.942.460	64.175	454.263
Uctepe-16	2.550.050	-107.278	115.132

Çizelge 4.39 doğrultusunda mikro-havza ölçeğindeki karbon depolama eğilimleri ve karbona yönelik ekonomik değerlendirme sonuçlarının birbiri ile kıyaslanması sağlanmıştır. Buna göre ekonomik değeri en yüksek havza bir kısmı Kozan diğer büyük bir kısmı Feke ilçelerine düşen Gökdere-11 mikro-havzası olarak elde edilmiştir.

Gökdere-11 mikro-havzası, baskın tür olan kızılçam ve ardılları karaçam, sedir ve göknar ormanlarının yaygın olduğu, orman parçalılıklarının diğer havzalara göre az bulunduğu peyzaj karakterine sahiptir. Buna ek olarak bu havzadan geçen Göksu nehrinin üzerinde iki adet baraj bulunmaktadır. Eğiminin yüksek olduğu bu havzada kuzey bakırlı yamaçlarda orman örtüsü dağılımının güney bakırlı yamaçlara göre daha fazla olduğu gözlenmektedir. Özellikle kuzey bakırlı yamaçlarda BTG özelliği bakımından Kahverengi Orman Toprağı bulunurken, güney bakırlı yamaçlara Kireçsiz Kahverengi Orman Toprağı bulunmaktadır. Gökdere-11 havzasının aşağı kesimlerine doğru inildikçe Kırmızı Akdeniz Toprakları görülmektedir. Kahverengi Orman topraklarında ana materyal sert kalker ve marn yapıları ile öne çıkarken baz saturasyonu yüksek toprak gruplarıdır. Bu toprak yapısı serin ılıman bölgelerde yayılım göstermektedir. Havzada aşağı kesimlere inildikçe Akdeniz iklimi etkisiyle bodur ağaç ve çalıların hakim olduğu sert kireçtaşı, kalker, marn, konglomera ve sularla kireçlenmiş kumtaşı başlıca ana kayalardır. Kalker ve kireçli ana kaya havzada derin çatlaklı bir yapı oluşturarak bitki köklerinin derine inmesini sağlamaktadır. Böylelikle bitkiler derin çatlaklardaki ince toprak ve sudan yararlanmaktadır. Bu durum bitkilerin gelişimini desteklemektedir. Buna ek olarak Gökdere-11 havzası, WRB toprak sınıflarına göre Leptosol-Cambisol hakimiyetindedir. Söz konusu topraklar sığ, taşlı ve erozyon etkisinde olduklarından havzanın yüzey toprak varlığı kırılğan yapıdadır. Buna karşın, karstik (kristalen kireçtaşı) alanlarda kayaç çatlak ve çözünme kanallarında oluşan çatlak içi toprakları erozyona karşı korunmaktadır. Bu havzada ortalama TOK içeriği 82.72 MgCha^{-1} düzeyinde elde edilmiştir. Gökdere-11 havzası, bitki köklerinin tutunmasına elverişli koşulların bulunması,

verimli orman alanlarının yaygınlaşması ve biyokütle-döküntü-toprak bileşenlerindeki karbon tutulumu açısından en yüksek ekonomik değerlemeye sahip mikro-havza olarak belirlenmiştir.

2014-2025 projeksiyonunda karbon depolama, tutulum ve ekonomik değerlendirme açısından göze çarpan diğer alt-havzalar Eğribük-3, Eğribük-1, Sariahmetli-3, Eğribük-2, Sariahmetli-1, Kılıçmerhmet-3 ve Gökdere-12 havzaları olarak öne çıkmaktadır. Aynı döneme ait en düşük karbon tutulum değeri Üçtepe-16 havzası olarak gözlenmiştir. Bu havzada -107.278 \$ değerinde karbon tutulum değerlemesi tahmin edilmiştir. Havzadaki bu negatif ekonomik değer, Üçtepe16 mikro havzasının karbon yutak özelliğinden ziyade karbon salınım kaynağı olarak özellik göstereceğini işaret etmektedir. Bu durumun temel nedeni 2014 yılında geniş bir orman açıklığına sahip bu bölgenin MLP-MC arazi örtüsü modellenmesinde (2025) büyük ölçüde tarım alanlarına dönüşmesidir.

2014-2055 projeksiyonunda karbon tutulumunun ekonomik değerlendirme sonuçlarına göre Gökdere-11 havzasından sonra sırası ile Sariahmetli-3, Sariahmetli-6, Himmetli-7, Sariahmetli-1, Eğribük-3, Kılıçmehmet-3 ve Eğribük-1 havzalarının önde çıktığı gözlenmektedir. 2014-2025 ve 2014-2055 projeksiyonunda farklı havzaların ekonomik değerlerinin değişimi büyük ölçüde AÖ/AK haritaları ile ilişkilidir. Özellikle orman sınıfının değişmesi dolaylı olarak karbon ekonomik değerinin değişmesine neden olmaktadır.

2014-2055 projeksiyonunda en düşük ekonomik değerlemeye sahip havza Çukurova Üniversitesi yerleşkesinin de içinde bulunduğu Baraj-1 havzasıdır. Bu havzaya ilişkin gelecek tahminlerinde yerleşim ve tarım alanlarının yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Nitekim bu bölgede yeni kurulan Şehir Hastanesi ve üniversite yerleşkesinin Sarıçam bölgesinde artan TOKİ yapıları, Stadyum inşaatı ve yeni yerleşim alanlarının açılması gelecek tahminini destekler niteliktedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğanın bir parçası olan insan ve toplum ekosistem kaynakları üzerinde kuşkusuz baskın bir hâkimiyete sahiptir. Ancak ekosistem ürün ve hizmetlerinden faydalanma sürecinde gerçekleştirilen olumsuz etki ve değişimler geri döndürülemez ekosistem kayıplarına neden olmaktadır. Ekosistem dengesindeki bu kayıplar dolayısı ile yine insanların ekosistemden yararlanma sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu hassas denge mevcut durumda tek yaşam alanımız olan Dünya'nın sahip olduğu ekosistem ürün ve hizmetlerine ait ekolojik ve ekonomik kapasitesinin ölçülmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir. Bu konuda ana akım iktisatçılardan çok çevreci iktisatçıların bakış açısı; sonlu bir gezegende sonsuz büyüme amacının gerçek dışı bir beklenti olduğudur. Bu çerçeveden bakıldığında peyzajlara ait ekosistem bileşenlerinin ölçülmesi, modellenmesi ve geleceğe yönelik ön görülerde bulunulması çevresel tehlikelere ilişkin endişelerin gözler önüne serilmesine yardımcı olmaktadır. Ekoloji ve ekonomi önceliklerinin sorgulandığı bu durumda ekolojik kapasitenin ölçüldüğü ve buna bağlı olarak ekonomik değerlerin belirlendiği ekosistem ürün ve hizmetleri yaklaşımı giderek yaygınlaşan araştırma konularının başında yer almaktadır.

Ekosistem ürün ve hizmetleri yaklaşımının geliştirildiği günden bu yana tüm hizmetlerin değerlendirmesine yönelik tek bir yöntem çizgisine henüz ulaşamamıştır. Özellikle 2010 yılından bu yana uluslararası araştırmalarda ekosistem ürün ve hizmetlerine yönelik yeni ve güncel yöntemlerin geliştirildiği gözlenmektedir. Ancak ülkemizde bu konudaki araştırmalar ve geliştirilen yöntemler hala istenilen düzeye ulaşamamıştır. Bu çalışmada ekosistem ürün ve hizmetleri altında öncelikli öneme sahip karbon depolama ve karbon tutulumu hizmeti üzerine odaklanılmıştır. Bu ekosistem hizmetinin tercih edilmesinin başlıca nedenleri küresel iklim değişikliği ekseninde öncelikli bir öneme sahip olması ve niceliksel sonuçlar üretilebilmesidir. Bu doğrultuda ülkemize yönelik yeni ve geliştirilebilir bir yöntem ile peyzaj planlama çalışmalarında ekosistem hizmetleri

tahminlerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda Seyhan Havzası'nda yer alan araştırma alanında küresel iklim değişikliği çerçevesinde karbon depolama ve karbon tutulum hizmetinin UA ve CBS teknolojilerinden yararlanılarak modellenmesi ve haritalanması sağlanmıştır.

Karbon depolama ve karbon tutulumu hizmetinin tahmin edilmesi sürecinde InVEST modeli kullanılmıştır. InVEST modeli gereksinimleri doğrultusunda (i) geçmiş, güncel ve gelecek AÖ/AK haritalarının üretilmesi, (ii) toprak altı biyokütle karbonu, (iii) toprak üstü biyokütle karbonu, (iv) toprak karbonu ve (v) döküntü (örtü örtü) karbonuna ait kapasiteleri farklı ve hassas yöntemler ile üretilmiştir. InVEST modeli sağladığı pek çok avantajın yanı sıra bazı temel belirsizliklere de sahiptir. Bu belirsizlikler, belirli konulardaki sınırlamalardan kaynaklanmaktadır. Modeldeki temel sınırlar, karbon döngüsünün basitleştirilmiş bir mekanizma ile sunulması, zaman içerisinde tutulan karbonun doğrusal değiştiği varsayımına dayanması ve potansiyel olarak indirgeme oranının geleceğe yönelik tahmininin kendi içerisinde belirsizlikler barındırmasıdır. Ayrıca karbon tutulumu için fotosentez oranı ve aktif toprak organizmalarının varlığı gibi hassas göstergeler modelde göz ardı edilmektedir. Buna ek olarak hassas düzeyde üretilen konumsal haritalar InVEST modeli çerçevesinde $MgCha^{-1}$ biriminde ortalama değerler ile çalıştırılmaktadır. Bu durum yüksek çözünürlükte üretilen verilerin yeniden kabalaştırılmasına neden olmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın bulgular bölümünde yer alan karbon depolama ekonomik değer haritasının yüksek hassasiyette üretilmesine ancak karbon tutulum ekonomik değerlendirme haritalarının daha kaba sonuçlar vermesi ile sonuçlanmıştır. Bu bakımdan modelin geliştirilmesi gereken eksik yönleri bulunmaktadır.

InVEST model girdisi gereksinimleri üretmek amacıyla 1990, 2003 ve 2014 AÖ/AK sınıflama haritaları üretilmiştir. Buna ek olarak hibrit sınıflama tekniği ile güncel 2014 AÖ/AK haritasının daha hassas üretilmesi sağlanarak karışık orman türlerinin de ayrıştırılması yoluna gidilmiştir. EK-1'de verilen bu harita karbon bileşenleri ve farklı orman türleri arasındaki ilişkilerinin belirlenmesinde

kullanılmıştır. AÖ/AK haritalarının doğruluk analizinde yer gerçeği verileri; arazi çalışmaları ve Adana OBM'den temin edilmiştir. 1990, 2003 ve 2014 yıllarına ait AÖ/AK sınıflama haritalarının doğruluk analiz sonuçları sırası ile 0.89, 0.85 ve 0.87 düzeyinde elde edilmiştir. Geçmiş ve güncel arazi örtüsündeki genel eğilimi belirlemek için değişim analizi gerçekleştirilmiştir. Geçmiş yıllardaki mevcut eğilim kullanılarak BAU senaryosuna göre 2025 ve 2055 yıllarına ait AÖ/AK haritaları modellenmiştir. Mevcut eğilimde 1990 yılında 2193 ha olan orman alanı 2003 yılında 2559.20 ha olarak genişleme göstermiş, 2014 yılında ise orman alanlarının toplam alanı 3348.22 ha'a yükselmiştir. Bu doğrultuda 24 yılı kapsayan zaman aralığında 1990 yılından 2014 yılına kadar orman sınıfında %15.67'lik bir artış tespit edilmiştir. Seyhan Havzası'nda ağaçlandırma çalışmaları ve havzanın ana kayaç yapısının karstik özellik göstermesi orman alanlarındaki artışı olumlu yönde etkilemektedir. Kireçtaşı nemli ve sıcak bölgelerde oluşturduğu çatlak zeminde bitki örtüsünün gelişimini ve yağmurla gelen suyun toprak yüzeyinden yıkanarak derinlere inmesini sağlamaktadır. Bu durum çatlaklardaki bitki-toprak-su koşullarının iyileşmesi sonucu derin kök yapıları ile tutunabilen ağaç örtülerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Çalışma kapsamında 1990 yılından 2014 yılına kadar toplam orman artışı sırası ile Gökdere, Üçtepe, Himmetli, Sariahmetli, Eğribük, Kılıçmehmet, Hacılıköprü, Seyhan ve Salbaş alt-havzalarında görülmüştür. Değişim analizi sonucunda mevcut eğilimde orman alanlarının yanı sıra tarım alanlarının da arttığını göstermektedir. Araştırma havzasında tarım alanları 1990 yılında 301.09 ha iken, 2014 yılında 1233.05 ha'a yükselmiştir. 24 yılı kapsayan değişim sürecinde tarım alanları 4 kat artış göstermiştir. Tarım alanlarının genişlediği havzalar Seyhan Baraj Bölgesi, Salbaş ve Tufanbeyli havzalarıdır. Değişim analizinde açık alanlar büyük ölçüde orman ve tarım alanlarına dönüşmüştür. Açık alanlardaki bu değişim 1990 yılında 4607.08 ha, 2003 yılında 3575.58 ha ve 2014 yılında 2277.91 ha'lık değerleri ile azalan bir eğilim sergilemiştir. Bu doğrultuda açık alan sınıfında 1990-2014 periyodunda %31.60 düzeyinde bir azalma tespit

edilmiştir. Yerleşim sınıfında ise 24 yıllık değişim sürecinde %18.34 düzeyinde bir artış gözlenmiştir.

Geçmiş ve güncel AÖ/AK haritalarının mevcut eğiliminden yararlanılarak MLP-MC entegrasyonu ile 2025 ve 2055 AÖ/AK haritaları modellenmiştir. Bu modelleme sürecinde genel eğilim çerçevesinde temel dönüşümler tespit edilmiştir. Geleceğe yönelik geçiş olasılıklarının hesaplanması ve simülasyon sonuçlarına ulaşmak için çevresel değişkenler etkin dönüşüm faktörleri olarak modelleme sürecine dahil edilmiştir. Etkin faktörler ve temel dönüşümler arasındaki ilişki Crammer's V katsayıları ile ortaya konulmuştur. Gerçek zamanlı 2014 AÖ/AK ve modellenen 2014 AÖ/AK haritası arasında KIA 0.78, ROC değeri ise 0.89 düzeyinde elde edilmiştir. Gelecek arazi örtüsü modellemesinin temel amacı gelecekte olası karbon tutulum hizmetinin ekolojik ve ekonomik bedelinin belirlenebilmesine yardım etmektir. InVEST, güncel ve gelecek AÖ/AK haritalarından yararlanarak karbon tutulumunu güncel ve gelecek arasındaki depolama farkı ile ortaya koymuştur.

Karbon havuzlarına yönelik ilk havuz olan toprak üstü biyokütle karbonu KP kapsamında kullanımı yaygınlaşan GPG-LULUCF biyokütle tahmin yöntemi esas alınarak hesaplanmıştır. Ülkemiz, IPCC ve KP kapsamında belirli aralıklar ile NIR bildirimleri için karbon depolama tahminlerine yönelik tablo verilerini Orman Genel Müdürlükleri'nce hali hazırda üretmektedir. Ancak bu veriler sayısal formattaki haritalar ile değil toplam karbon hesaplanmasına yönelik tablo veri formatında hazırlanmaktadır. Bu yönü ile ülkemizde mevcut durumda orman biyokütle haritaları üretilmemektedir. Özel araştırmalar doğrultusunda Orman Amenajman Planlarında hazırlanan ağaç hacim değerleri kullanılarak biyokütle tahminleri yapılmaktadır. Araştırma alanına yönelik biyokütle karbonunun tahmin edilmesi sürecinde herhangi bir sayısal harita sağlanamamıştır. Bu doğrultuda Orman Amenajman Planlarında üretilen Tablo 13 bilgilerinin sayısallaştırılması gerekmiştir. Bu durum hem işgücü hem de zaman kaybına neden olmuştur. Vektör formatı ile üretilen klasik biyokütle tahmini ile ağaç kapalılık yüzdesi verisinin

entegrasyonu sayesinde raster veri formatına sahip toprak üstü biyokütle karbonu haritası üretilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre Seyhan Havzası'nda yer alan araştırma alanında toprak üstü biyokütlesi aracılığı ile depo edilen karbon değeri 0.0002-12464.4 grCm⁻² aralığında tahmin edilmiştir. Alanda toprak üstü biyokütle karbonunun ortalama değeri 1111,93 grCm⁻² iken toplam karbon depolama miktarı 5.126 TgC değerinde tahmin edilmiştir. Ülkemize yönelik yapılan araştırmalar ve IPCC GPG-LULUCF raporlarından elde edilen bilgilere göre ortalama biyokütle 74 MgCha⁻¹ iken, dünyada en yüksek toprak üstü biyokütle değerleri Panama (322 MgCha⁻¹), Şili (268 MgCha⁻¹), Costa Rika (220 MgCha⁻¹) gibi Tropik ülke ormanlarında gözlenmektedir. AB ülkelerinin toprak üstü biyokütle miktarı 50-150 MgCha⁻¹ aralığında değişirken Amerika Birleşik Devletleri'nde 108 MgCha⁻¹ olduğu gözlenmiştir. Bu araştırma alanında verimli orman meşçelerinde toprak üstü biyokütle değeri 72.08 MgCha⁻¹ düzeyinde tespit edilmiştir. Bu sonuç ülkemiz fitocoğrafik özellikleri ile ılıman orman kuşaklarının gösterdiği değerlere yakın bulunmaktadır. Araştırma alanının yoğun orman alanına sahip olması ve fitocoğrafik yönü ile Anadolu Çaprazı üzerinde yer aldığı gözönüne alındığında ülke geneline göre verimli bir orman yapısına sahip olduğunu söylemek mümkündür. Birim alanda toprak üstü biyokütle karbonunun EK-1 haritası arasında zonal istatistik işlemi uygulanmıştır. Buna göre birim alanda depolanan toprak üstü biyokütle karbonu açısından en yüksek depolama değerine sahip orman türü kayın olarak elde edilmiştir. Araştırma havzasında toplam karbon depolama özelliğine göre kızılçam ormanlarının baskın bir hakimiyeti varken, birim alanda depolanan karbon özelliği bakımından düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak alanda Karaisalı ve Aladağ İlçeleri en yüksek toprak üstü biyokütle karbonu depolama özelliği gösterirken en düşük Tufanbeyli İlçesinde depolama özelliği gözlenmiştir.

InVEST model girdilerinden bir diğeri olan toprak altı biyokütle karbonunun hesaplanması için GPG-LULUCF kılavuzu esas alınmıştır. Kılavuzdan ve ülkemizdeki araştırmalardan elde edilen bitki türlerine ait R (Root/Shoot Ratio)

katsayısından oranından yararlanılmıştır. Elde edilen toprak üstü biyokütle karbonu haritasından belirlenen katsayılar yardımı ile toprak altı biyokütle karbonu haritası üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre toprak altı biyokütle karbon depolama değeri $0.0001-2992.79 \text{ grCm}^{-2}$ aralığında elde edilmiştir. Toprak altı biyokütle karbonunun konumsal değerlendirmesi büyük ölçüde toprak üstü biyokütle karbonu paralelinde elde edilmiştir. Araştırma alanında toplam toprak altı biyokütle karbon depolama değeri 1.737 TgC tahmin edilmiştir.

Orman olmayan tarım, maki ve mera alanlarına yönelik karbon tahmininin üretilmesi ayrı teknik çalışmaları gerektirmektedir. Ancak bu eksiklik özellikle toprak karbonunun hesaplanması süreci ile bir ölçüde azaltılmaya çalışılmıştır. Nitekim tarım alanlarının belirli dönemlerde düzenli olarak işlenmesi nedeniyle sürekli karbon tutulumu sağlamamaktadır. Buna ek olarak toprak karbonunun hesaplanması sürecinde yalnızca ormanlara değil tarım, maki ve mera alanlarından da toprak örnekleri toplanmasına dikkat edilmiştir.

Üçüncü ve en yoğun karasal karbon depolama havuzu olan TOK içeriğinin hesaplanması süreci yoğun iş gücü gerektirmiştir. Arazi çalışmalarının yaklaşık 2 ay sürdüğü çalışmada toplamda 521 TOK örneği ile Regresyon Kriging (RK) yöntemi ile konumsal enterpolasyon uygulanmıştır. Modelleme sürecinde TOK bağımlı değişken olarak kullanılırken bağımsız değişken olarak 17 yardımcı/bağımsız değişken ile stepwise regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Modelleme sürecinde konumsal doğruluğu arttırmak amacı ile araştırma alanında yer alan 10 farklı WRB toprak sınıfları için 10 ayrı RK modelleme süreci ayrı ayrı koşturulmuştur. Bu çalışmada doğruluk analizi için RK modeli sonucu tahmin edilen TOK haritasındaki korelasyon katsayısı (r) 0.69 elde edilmiştir. TOK tahminini RK yöntemi ile yapan Kumar (2013) model sonucunda r düzeyini 0.50, toprağın farklı derinliklerinde TOK tahminin yapan Adhari ve ark. (2014) r düzeyini en yüksek 0-5 cm derinlikte 0.61 olarak elde etmiştir. Hengl ve ark. (2007) tarafından farklı toprak sınıflarında kategorik veriler ile yapılan RK modeli sonuçlarına göre R^2 düzeyi 0.18-0.64 aralığında değişirken en yüksek değer 0.64

olarak belirlenmiştir. Aksoy ve ark. (2016) tarafından Avrupa Birliğine ait geniş toprak örneği veri seti ile üretilen model R^2 sonuçları ise en düşük 0.33 ve en yüksek 0.40 düzeyinde gerçekleştirmiştir. Yiğini ve Panagos (2016), güncel ve geleceğe yönelik TOK tahminine göre R^2 düzeyini 0.40 olarak belirtmiştir. Türkiye genelinde topraktaki organik karbonun tahminine yönelik Sönmez ve ark. (2017) tarafından RK yöntemi ile gerçekleştirilen çalışmada R^2 , 0.32 düzeyinde elde edilmiştir. TOK ile ilgili çalışmalarda korelasyon katsayısı göreceli olarak genellikle 0.80 değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

RK yöntemi ile TOK modellemesinde elde edilen sonuçlara göre toprak organik karbon değerleri %0 - %6.06 arasında elde edilmiştir. Araştırma alanında ortalama TOK değeri %2.23 düzeyinde tahmin edilmiştir. Toprak organik karbon değerleri sınıfları %0-2 düşük, %2-3 orta, %3-6 yüksek ve %6'dan fazla ise yüksek kategorilerine dâhil olmaktadır. Bu bakımdan %2.02 değeri ile araştırma alanında ilişkin genel bir yorumlamada orta düzeyde TOK değerine sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Toprakta depo edilen karbon miktarı topraktaki organik madde ile doğrudan ilişkidir. Birim alanda TOM ve dolayısı ile TOK ne kadar yüksek ise o alanda depolanan karbon o ölçüde fazladır. Toprak karbonunun toprakta depo edilmesini etkileyen en önemli faktörler ana kaya, orman örtüsü, döküntü miktarı, arazi kullanımı, topografik etkenler ve iklim özellikleridir. İklim yönünden sıcaklık, yağış ve solar radyasyon büyük ölçüde toprak kimyasında etken olan faktörlerdir. Özellikle sıcaklığın yüksek olduğu alanlarda kimyasal reaksiyonların hızları artmaktadır. Bu hız toprak organik maddesindeki çözünme hızını artırarak toprakta karbon birikimini engelleyen bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Nitekim nemli bölgelerde bulunan turba alanlarda en yüksek karbon tutulumunun sağlandığı gözlenmektedir. Bu durumun temel nedeni sıcaklık azaldıkça topraktaki kimyasal reaksiyonların hızları azalarak yavaş bir çözünme süreci gerçekleşmesidir. Bu durum soğuk iklim bölgelerinde sıcak iklim bölgelerine göre daha yüksek miktarda karbon depolanması ve daha yüksek ekosistem verimliliği ile sonuçlanmaktadır.

Dünya geneline bakıldığında İskandinav ülkelerinde yüksek düzeyde karbon depolandığı gözlenmektedir. Yine ülkemizde de güneyden kuzeye gidildikçe toprakta ve bitki örtüsündeki karbon depolarının arttığını söylemek mümkündür.

Bu araştırma sonuçlarına göre alandaki en yüksek TOK değeri (%6.06) Himmetli havzasında tahmin edilmiştir. Himmetli havzası Saimbeyli İlçe sınırları içerisine giren ve Seyhan Havzası'nın yukarı kesimde bulunan bir havzadır. Alanda en düşük TOK değeri ise Seyhan Baraj Bölgesi'nde elde edilmiştir. Nitekim Seyhan Baraj Bölgesi'nde uzun yıllar (1975-2010) ortalama sıcaklık 18°C iken, Himmetli havzasında uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri 8°C'dir. Aradaki 10 °C'lik fark toprakta depo edilen karbonun kimyasal reaksiyonları arasındaki farkı da ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda sıcaklık ve toprakta depo edilen karbon değerleri arasındaki ilişki tez bulguları ile desteklenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ortalama en yüksek TOK değeri ise Üçtepe-8 (%3.01) ve Üçtepe-7 (%2.93) alt havzalarında tahmin edilmiştir. Leptosol-Cambisol toprak sınıfında yer alan bu iki havza ılıman iklim yapısı ve orman örtüsü ile alan geneline göre en yüksek bölgeleri temsil etmektedir. Aladağ İlçesi'nde yer alan Üçtepe-8 ve Üçtepe-7 havzalarında geniş yayılım gösteren Kızılcım ve Karaçam ormanları bulunmaktadır. Araştırmada güneyden kuzeye doğru yükseldikçe TOK değerinde artış görülmüştür. Bu sonuç ile gelecek arazi örtüsü modellemesinde elde edilen sonuçlar paralellik göstermektedir. Nitekim TOK haritası ile doğrudan ilişkisi olmayan gelecek arazi örtüsü modellemesinde güneyden kuzeye doğru orman alanlarının artacağı sonucuna ulaşılmıştır. Modelleme çalışmasında 1990-2014 arasındaki mevcut eğilim esas alındığından geçmişten günümüze 24 yılı kapsayan bir süreçte alanın kuzeyinde orman dağılımının arttığı tespit edilmiştir. IPCC, son yüzyılda Dünya'nın yaklaşık 1°C ısındığını tespit etmiştir. Bu tespite göre Dünya sıcaklığındaki bu artış kuzey enlemlerinde sıcaklık artışının yükseleceğini, güney enlemlerde ise daha yüksek sıcaklıklar ile karşı karşıya kalınacağını bildirmektedir. Bu durum küresel iklim değişikliği çerçevesinden bakıldığında güney kesimlerin ekolojik verimlerinin azalması ile ekosistem hizmetleri yönünden zayıflayacağı,

ülkemizin diğer kuzey bölgelerindeki soğuk kesimlerinde sıcaklık artışı ile ekosistem hizmetlerinin artış göstereceğini işaret etmektedir, bu durum Berberoğlu ve ark. (2014a) ile ortaya konmuştur.

Araştırma havzasında TOK içeriği 238.26-23112.11 grCm⁻² aralığında belirlenmiştir. Araştırma alanında 0-30 cm. derinlikte ortalama TOK içeriği 85.371 MgCha⁻¹, toplam karasal toprak karbonu depolama değeri ise 61.637TgC tahmin edilmiştir. Ülkemizde yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırıldığında Seyhan Havzası'araştırma alanının genel ortalamasının üzerinde olduğu gözlenmiştir. Çalışmada AÖ/AK sınıflarına göre en yüksek TOK içeriği orman topraklarında depolanmaktadır. Nitekim araştırma sonuçlarına göre çalışma sahasındaki tarım alanlarında 65.271 MgCha⁻¹ iken açık alanlarda bu miktar 70 MgCha⁻¹ üzerine çıkmaktadır. EK-1'deki 2014 AÖ/AK sınıflarında birim alana düşen TOK içeriklerinin değerine göre kayın (110.359 MgCha⁻¹), göknar (107.665 MgCha⁻¹), karaçam (104.072 MgCha⁻¹), sedir (102.910 MgCha⁻¹) orman alanları öne çıkarken, araştırma alanının hakim türü olan kızılçam ormanlarında ise 87.824MgCha⁻¹ düzeyinde tahmin edilmiştir. Bu yönü ile geniş yapraklı orman türünün iğne yapraklı orman türlerinden daha yüksek düzeyde toprak karbonu depolamasına yardımcı olduğu ortaya konulmuştur. Bu sonucun temel sebeplerinden biri ağaç türünün mevsimsel geçişlerde toprak üstüne bıraktığı döküntü miktarı ile büyük ölçüde ilişkilidir.

InVEST model girdilerinin karbon havuzlarına yönelik son karbon havuzu döküntü karbonudur. Araştırma alanındaki döküntü karbonunun hesaplanma sürecinde Berberoğlu ve ark. (2006)'nın TÜBİTAK proje sonuçlarından yararlanılmıştır. Tez alanında döküntü karbonu 0-768.6 grCm⁻² aralığında değişim göstermektedir. Alanda döküntü karbonunun ortalama değeri 161.2 gCm⁻²yr⁻¹ iken toplam depolama 0.0012 TgC değerindedir. Döküntü karbonunun en yüksek olduğu konumlar Saimbeyli İlçesi'nde yer alan Gökdere Havzası'dır. Büyük çoğunluğunun Leptosol-Cambisol toprak sınıfından olan Gökdere havzası kızılçam, karaçam, sedir, göknar ve bazı yapraklı türlerin hakim olduğu bir alandır.

Araştırma alanında güneyden kuzey kesime doğru yükselen ve sıcaklığın azaldığı bu havzada orman türlerinin geniş yayılımı gözlenmektedir. Bu havza orman türü bakımından en yüksek çeşitliğe sahip havzadır. Orman çeşitliliğinin ve yoğunluğunun diğer havzalara göre yüksek olduğu bu havzada dolayısı ile ağaç döküntüsü de yüksek değerler göstermektedir. Tez alanında en düşük döküntü karbonuna sahip alan ise Seyhan Baraj Bölgesi olarak tespit edilmiştir.

Ekonomik değerlendirme analizinde gerçekleştirilen literatür araştırmaları incelendiğinde karbon fiyatlarında sıklıkla fayda transferi yöntemi kullanıldığı gözlenmiştir. Ancak karbon fiyatının TEV, Kyoto protokolü mekanizmaları, karbon piyasası, karbon borsası ve ekonomik maliyet analizi gibi pek çok mekanizma ile tahmin edildiği ve bu tahminlerin birbirinden farklı sonuçlar ortaya koyduğu da gözlenmektedir. Karbon fiyatının farklı mekanizmalar tarafından standartlaştırılmamış olması nedeni ile fayda transferi yöntemi bu tez araştırması kapsamında tercih edilmemiştir. Bu çalışmanın özgün yönü karbon tutulumu ve karbon tutulumuna ilişkin ekonomik değerlemenin tahmin edilmesidir. InVEST modeli karbon tutulumunun tahmin edildiği zaman periyoduna ait karbon fiyatına gereksinim duymaktadır. Bu gereksinim doğrultusunda $z+t$ zamana ait karbon fiyatının bugünkü t zamana indirgenmesi söz konusudur. Karbon depolama fiyatına ait tek bir ekonomik değer gelecek zaman dönemleri için kullanılması ekonomik açıdan doğru bir uygulama değildir. Çünkü ekonomik göstergeler dönemsel değişkenliğe sahiptir. Bu doğrultuda InVEST modeli hedef zamandaki karbon tutulumuna ait karbon ekonomik değerini indirgeme oranları ile bugünkü değere taşımaktadır. Bu bakımdan tek bir ekonomik değer tüm yıllar için kullanılamamaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde yönelik karbon ekonomisi çalışmalarındaki eksikliğe katkı sağlaması açısından güncel ve geleceğe ilişkin karbon fiyatının belirlenmesi sağlanmıştır. Karbon fiyatının belirlenmesi konusunda birden fazla mekanizmanın bulunmasından dolayı uluslararası araştırmalarda giderek yaygınlaşan ve ortak bir göstergeyi temsil eden karbon sosyal maliyeti (SCC) esas

alınmıştır. Dünya çapındaki araştırmalarda SCC tahminleri için Stern (2006), Nordhaus (1991) ve Tol (2008) tarafından yürütülen çalışmalar ile öne çıkmaktadır. Çalışmada ekonomik değerlendirme Nordhaus tarafından geliştirilen RICE2010 modelinin ülkemize uyarlanması ile gerçekleştirilmiştir. RICE modeli SCC tahmininde ülke veya bölge ekonomilerine ait geçmiş göstergeleri esas alarak güncel ve gelecek tahminler üretmektedir. Gelecek tahmininde ekonomik fonksiyonlardan yararlanılarak entegre bir öngörü geliştirilmektedir. Baz yıl referansı ile model başlangıcı kurulur ve bundan sonraki her zaman periyodu kendinden önceli zaman dilimini girdi olarak kullanır. Bu noktada her SCC tahmininin IAMs kaynağının varsayımsal fonksiyonları ile tahmin edilmektedir. Bu araştırmada RICE modeli 2005 baz yılı referans alınarak başlatılmış ve ülkemizde geçmiş ve güncel nüfus, geçmiş ve güncel tasarruf oranları, kişi başı GSYİH ve ülkemize ait CO₂ salınımları dikkate alınmıştır. Buna ek olarak sermaye payı, zarar fraksiyonu, amortisman, tüketimin marjinal esnekliği ve sosyal zaman tercih faktörü gibi göstergeler modelde tüm ülke ve bölgeler için ortak kullanılmaktadır. Bu kapsamda ülkemize ait antropojenik etkiler ile atmosfere salınan bir ton CO₂'in sebep olduğu ekonomik zarar ve indirgeme oranları 2015, 2025, 2035, 2045 ve 2055 yıllarına yönelik olarak modellenmiştir. Elde edilen ekonomik değerler 2005 baz yılı satın alma gücü paritesi (ppp) ile tahmin edilmektedir. Buna göre InVEST modelinde RICE model çıktıları 2015 SCC değeri 3,20 USD ve indirgeme oranı %5.5, 2025 SCC değeri 7,48 USD ve indirgeme oranı %4.8, 2055 SCC değeri 40,04 USD ve indirgeme oranı %5.4 InVEST modelinde girdi olarak kullanılmıştır.

Araştırma alanındaki güncel karbon depolama hizmetinin ekonomik bedeli 222.134.190 USD olarak öngörülmektedir⁸. Güncel karbon depolarına ilişkin sonuçlara göre en yüksek karasal karbon depolama miktarı Gökdere-11 havzasında tahmin edilmiştir. Dolayısı ile 2014 karbon depolama hizmetinin ekonomik değerlendirme sonuçlarının en yüksek değerini Gökdere-11 havzası elde etmiştir.

⁸ Ekonomik değerlendirme tahminleri 2005 Satınalma Gücü Paritesi (ppp) ile ölçütlendirilmiştir.

Gökdere-11 havzası, WRB toprak yapısı itibari ile Leptosol-Cambisol, Litric-Leptosol ve Chromic-Luvisol sınıflarının karışık olarak bulunduğu bir havzadır. Bu havzanın üst kesimlerinde yüksek derecede eğimler gözlenmiştir. Bu eğimlere tutunan kuzey bakılarda kızılçam, karaçam, meşe ve diğer yapraklı türler yayılım gösterirken, güney bakılı yamaçlarda kızılçam ve ardıç ormanlarının hakimiyeti gözlenmektedir. Güncel AÖ/AK sınıflama haritasına göre bu havzanın %64'ü orman yüzeyi ile kaplıdır. Geri kalan alanları ise orman açıklığı veya su yüzeyidir. Havzanın sahip olduğu yüksek eğim nedeni ile bu alan içerisinde iki baraj inşası mevcuttur. Yalnızca karbon depolama ve tutulumu ile değil aynı zamanda su hizmetleri ve geniş orman alanları ile sağladığı biyoçeşitlilik faktörleri göz alındığında ekosistem hizmetleri yönünden çoklu faydaya sahip olduğu söylenebilir. Gökdere-11 havzasının 2014 yılı karbon depolama hizmetinin ekonomik değerlemesi 9.394.840 USD olarak tahmin edilmiştir.

Karbon tutulumunun ekonomik değerlemesi ilk aşamada 2014-2025 projeksiyonunda ikinci aşamada 2014-2055 projeksiyonunda gerçekleştirilmiştir. 2014-2025 projeksiyonunda BAU senaryosuna göre çalışma alanında 1.156 TgC tutulum gerçekleştirilceği öngörülmektedir. Gelecekte bu tutulum sayesinde toplamda 6.982.021,44 USD değerinde ekosistem hizmeti sağlanacağı tahmin edilmiştir. Bu öngörü kapsamında gelecekte en yoğun karbon tutulumunun sırası ile Gökdere, Üçtepe, Sarıahmetli, Eğribük, Kılıçmehmet, Himmetli ve Hacılıköprü alt-havzalarında görülmesi beklenirken, en az tutulumu Salbaş havzası ve Seyhan Baraj Bölgesi'nde görmek mümkündür. Mikro-havzalarda ise 2014-2025 karbon tutulumunda en yüksek olduğu havza 539.457,69 USD ile Gökdere-11 havzasıdır. 2014-2055 projeksiyonunda araştırma alanında 2.718 TgC tutulum gerçekleştirilceği öngörülmektedir. 2014-2055 projeksiyonunda karasal karbon tutulum hizmeti toplam bedeli 50.309.903,59 USD tahmin edilmiştir. Alt havzalar içinde en öne çıkan Gökdere-11 havzasının 2014-2055 yılları arasında toplamda 3.499.050 USD değerinde karbon tutulumuna ait ekosistem hizmeti sağlayacağı tahmin edilmiştir.

Modelleme çalışmaları söz konusu olduğundan model süreçleri bazı yönleriyle sınırlı kalabilmektedir. Gelecek arazi örtüsü tahminlerinde orman çeşitliliğinde simülasyonların karmaşık yapısından dolayı orman türleri iğne yapraklı ve geniş yapraklı orman türleri olarak iki kategoriye indirilmiştir. Buna ek olarak RICE modelinin jeofiziksel döngülere ait kabulleri model içerisinde sabit kabul edilmektedir. RICE modeli çıktılarının üretilmesinde “baseline” senaryo esas alınmıştır. Bu doğrultuda baseline senaryo son yüzyılda 1.1°C sıcaklık artışının gerçekleştiğini, 2100 yılının hedeflendiği projeksiyonda 1900 yılından 2100 yılına kadar 3.8 °C sıcaklık artışının gerçekleşeceğini esas almaktadır. Buna ek olarak 2100 yılında atmosferik CO₂ konsantrasyonlarının 858 ppm’e ulaşacağı varsayılmaktadır. Bu varsayımlar geçmişten günümüze sıcaklık ve emisyon artışlarını gözönüne almaktadır. Ancak gelecekte mevcut eğilim daha da ciddi boyutlara ulaşabilir. Sınırlayıcı faktörlerden bir diğeri de InVEST modelinin AÖ/AK sınıfları üzerinden biyofiziksel tablolar yardımı ile tahmin üretmesidir. Nitekim 2014 karbon depolama ve ekonomik değerlendirme haritası daha hassas sonuçlar üretirken geleceğe yönelik yapılan karbon tutulumu tahminleri daha genel haritalardan oluşmaktadır. Bunun temel nedeni karbon havuz değerlerinin AÖ/AK sınıflarında ortalama değer üzerinden değerlendiriliyor olmasıdır. İlerleyen çalışmalarda açık kod yazılımları ile modelin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda temel hedef ekosistem hizmetleri çerçevesinin peyzaj planları ile entegrasyonunun sağlanmasıdır. Özellikle çevresel etki değerlendirmesi çalışmalarında havza düzeyinde yapılması hedeflenen, baraj, maden ocağı veya ekonomik bir işletmenin toplam işletme ömrü süresindeki ekonomik değer ile karbon tutulumu değeri arasında karşılaştırma yapılarak fizibilitesi ortaya konabilir. Nitekim karbon tutulumuna yönelik ekonomik değerlemenin ormana ait bir kereste bedeli gibi düşünülmemesi, daha ileri bir analiz yöntemi olan IAMs çerçevesinin ürünü olduğu unutulmamalıdır. Bu çerçevenin bize sunduğu sonuç; karbon salınımına neden olan arazi değişimi mevcut karbon depolarının zarar görmesi ve dolayısı ile tutulum mekanizmasına

zarar vererek antropojen etki ile atmosfere saldıgımız her bir ton her bir ton CO₂'in toplumsal ekonomimizdeki zararları meydana getirmektedir. Bu durumun en ciddi boyutu konumsal olarak kaybettiğimiz karbon depolarımız değil, kendi yaşam alanımız ve ekonomimizdeki küresel iklim değişiminden kaynaklanan olası kayıptır. Bu doğrultuda orman alanlarının ekosistem hizmetleri yalnızca sağladığı oksijen kaynağı olarak görülmemeli ve toplumsal ekonomimize sağladığı katkılara göz ardı edilmemelidir. Çalışmanın temel sonucu, peyzaj plan kararlarının oluşturulmasında karasal karbon havuzlarının ekolojik ve ekonomik değerlerinin dikkate alınarak arazi kullanım seçeneklerinin önerilmesidir. Buna ek olarak çalışma sonuçları doğrultusundaki öneriler;

- (i) Araştırmalarda karasal karbon depolama ve karbon tutulum özelliği yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda ekonomik katkı ve zararlar yönüyle planlamada değerlendirilmesi mümkündür.
- (ii) Orman alanlarında bitki-döküntü-toprak havuzlarının etkileşim içinde var olduğu, bu sistemin sağladığı yüksek verimliliğin ve karbon depolama özelliğinin küresel iklim ekonomisindeki olası kayıpları azalttığı göz önünde bulundurulmalıdır.
- (iii) Çalışma alanında uygun bölgelerde geniş yapraklı türlerin arttırılması sağlanabilir.
- (iv) Yalnızca orman alanları değil, aynı zamanda toprak organik karbon değerinin yüksek olduğu alanların yapılaşmaya açılmaması önerilebilir.
- (v) Ekosistem hizmeti yönünden ekolojik ve ekonomik değeri yüksek olan mikro-havzaların koruma altına alınması sağlanabilir.
- (vi) Peyzaj planlama çalışmalarında sübjektif kararlar yerine iklim değişikliği etkisi ve ekosistem hizmetlerinin niceliksel sonuçları kullanılabilir.
- (vii) Peyzaj planlama çalışmalarında karbon temelli ekolojik ve ekonomik altlıkların yaygınlaştırılması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- AFOLU., 2006. Forest Land Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Agriculture, Forestry and Other Land Use (Volume 4). IPCC.
- Ahmed, A., Marsily, G.D., 1987. Comparision of Geostatistical Methods for Estimating Transmissivity Using Data on Transmissivity and Specific Capacity. Water Resources Research, 23, 1717-1737.
- Akdeniz, F., 2010. Olasılık ve İstatistik. Nobel Kitabevi. ADANA.
- Akın, A., 2007. Çukurova Deltası Kıyı Alanında Arazi Örtüsü Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Uzaktan Algılama Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Akın, A., Berberoğlu, S., Sunar, F., 2012. Lojistik Regresyon Yöntemi ile İstanbul'da Geleceğe Yönelik Kentsel Gelişim Analizi. Paper presented at the V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Aksoy, A., Yiğini, Y., Montanerella, L., 2016. Combining Soil Database for Topsoil Organic Carbon Mapping in Europe. Plos One, 11.
- Akyürek, Z., 2017. Taşkın Riski Ön Değerlendirmesi. SYGM Hizmetiçi Eğitim. Antalya.
- Akyüz, Y., 2009. Sermaye Bölüşüm Büyüme. Ankara: Eflatun Yayınevi.
- Albayrak, E.N., Gökçe, A., 2015. Ekonomik Büyüme ve Çevresel Kirlilik İlişkisi: Çevresel Kuznets Eğrisi ve Türkiye Örneği. Social Sciences Research Journal, 4, 279-301.
- Albayrak, İ., 2012. Ekosistem servislerine dayalı havza yönetim modelinin İstanbul-Ömerli Havzası örneğinde uygulanabilirliği (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Altunkasa, F., 2013. Çevresel Sürdürülebilirlik. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın.

- Amthor, J. S., 1998. Terrestrial Ecosystem Responses to Global Change: Research Strategy. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), 27.
- Anonim. 2017a. Toprakların Sınıflandırılması. Erişim Tarihi: 10.10.2017
<http://www.dicle.edu.tr/a/skaradogan/4/1eskisiniflama.pdf>
- Anonim. 2017b. Adana Mevsim Normalleri (1981-2010) Erişim Tarihi: 12.10.2017
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- Areendran, G., Raj, K., Mazumdar, S., Puri, K., Shah, B., Mukerjee, Medhi, K., 2013. Modeling REDD+ Baseline using Mapping Technologies: A pilot study from Balpakram-Baghmara Landscape (BBL) in Meghalaya, India. International Journal of Geoinformatics, 9, 61-71.
- Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W., Boloran, A. D., 2013. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 265-275.
- As, N., Koç, H., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B., Erdinler, S., 2001. Türkiye'de Yetişen Endüstriyel Öneme Sahip Ağaçların Anatomik, Fizik, Mekanik ve Kimyasal Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.
- Asan, Ü., 1995. Global İklim Değişimi ve Türkiye Ormanlarında Karbon Birikimi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 41, 23-38.
- Asan, Ü., 1999. Climate Change, Carbon Sinks and The Forest of Turkey. Tropical Forests and Climate Change, Status, Issues and Challenges Proceedings of the International Conference. Philippines.
- Asan, Ü., 2006. Final Report for the LULUCF Forestry Group Concerning the Estimation of Net Annual Amount of Carbon Uptake or Release in the Forests of Turkey.
- Atalay, İ., 2015. Ekosistem Ekolojisi ve Coğrafyası. META Basım Matbacılık Hizmetleri. İzmir.

- Aydın, G., Çullu, M. A., Erşahin, S., Akça, E., Erdoğan, E., Atanır, L., Yorulmaz, A., Çilek, A., Ersoy, M., Rezzaghi, S., Kapur, S., Lal, R., 2016. Mapping soil carbon: stocks of Turkey (3rd Edition ed.). Taylor and Francis.
- Bachmann, P. L., 2013. Ecosystem services modeling as a tool for ecosystem assessment and support for decision making process in Aysén region, Chile (Northern Patagonia), Kiel Christian-Albrechts-Universität Germany. Master of Thesis.
- Baggethun, E. G., Groot, R., Lomas, P. L., Montes, C., 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69, 1209-1218.
- Balkız, Ö., 2015. Ekosistem Hizmetleri ve Havza Yönetimi. Doğa Koruma Merkezi.
- Barros, R., Carvalho, A., Freitas, A., 2015. Automatic Design of Decision-Tree Induction Algorithms. Springer.
- Başoğlu, A., 2015. Küresel İklim Değişikliğinin Ekonomik Etkileri. *Sosyal Bilimler Dergisi*.
- Başsüllü, Ç., 2014. Ormancılıkta Karbon Ekonomisi ve Borsası. (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Baysal, G., 2013. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis And Modeling A Case Study Area Malatya, Turkey. Münster.
- BDDK., 2006. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu Finansal Piyasalar Raporları
http://www.bddk.org.tr/WebSitesi/turkce/Raporlar/Finansal_Piyasalar_Raporlari/1503Finansal_Piyasalar_Raporu_Mart_Haziran_2006.pdf
- Begzsuren, S., 2007. Integrated desertification assessment in Southern Mongolia (PhD Thesis), Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Germany.
- Berberoğlu, S., 2000. The Integration of Spectral And Textural Information Using Neural Networks for Land Cover Mapping in the Mediterranean. *Computers and Geosciences*: 26, 385-396.

- Berberoğlu, S., Lloyd, C. D., Atkinson, P. M., 2000. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean Computers and Geosciences, 26, 385-396.
- Berberoğlu, S., Evrendilek, F., Çelik, İ., Asher, J., Aydın, M., Koç, M., Taşkınsu, S., Barutçular, C., Kılıç, Ş., Dođan, K., 2006. Quantify of C&N Dynamics of Ecosystems in Seyhan Watershed in Changing Global Climate & Local Land Uses TOVAG-JPN-04-103O011. TÜBİTAK.
- Berberoğlu, S., Şatır, O., Atkinson, P.M. 2009. Mapping percentage tree cover from Envisat MERIS data using linear and nonlinear techniques, International Journal of Remote Sensing, 30: 4747-4766.
- Berberoğlu, S., 2010. Modeling Future Urban Growth of Adana under Various Management Policies. TÜBİTAK Projesi, COST Action C27.
- Berberoğlu, S., Hickler, T., Özkan, Ç., Evrendilek, F., Küçük, Ö., Dönmez, C., Tanrıöver, A., Erdoğan, M., Çilek, A. Forrest, M., Kapur, B., Ersoy, M., Şahingöz, M., 2014a. İklim Değişikliği ve Türkiye Çevresel Risk Analizi 110Y338. Adana. TÜBİTAK Projesi.
- Berberoğlu, S., Akça, E., Gök, T., Erk, N., Çullu, M. A., Görücü, Ö., Kapur, S. 2014b. Carbon Response Units (CRU) Approach in Land Management Planning Göksu River Basin Case Study. I. Carbon Summit, İstanbul.
- Berberoğlu, S., Akın, A., Clarke, K.C., 2016. Cellular automate modelling approaches to forecast urban growth for Adana, Turkey. A comparative approach. Landscape and Urban Planning, 153, 11-27.
- Bhat, U. N., 1972. Elements of Applied Stochastic Processes. Canada. John Wiley & Sons, Inc. .
- Bijgaart, I., Gerlagh, R., Korsten, L., Liski, M., 2014. A Simple Formula for the Social Cost of Carbon.
- Binboğa, G., 2014. Uluslararası Karbon Ticareti ve Türkiye. Journal of Yasar University, 9(34), 5732-5759.

- Bolin, B., Kheshgi, H., 2001. On Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the America, 98, 4850-4854.
- Bozkaya, A. G., 2013. İğneada Koruma Alanının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Zamansal Değerlendirilmesi ve Geleceğe Yönelik Modellenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bozlağan, R., 2005. Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesinin Tarihsel Arka Planı. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi 50 (1011-1028).
- Brander, M., 2012. Greenhouse Gases, CO₂, CO₂e, and Carbon: What Do All These Terms Mean? Ecometrica.
- Brandy, N. C., Weil, R. R., 2010. Toprağın Oluşumu ve Özellikleri (N. Güzel & K. Y. Gülüt, Trans. Vol. 289). Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın.
- Brown, S., 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer (Vol. 134). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO Forestry.
- Byrne, K., Black, K., 2003. Carbon Sequestration in Irish Forest. COFORN Connect 3.
- Cass, D., 1965. Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation. Review of Economic Studies, 32. 233-240.
- Cairns, M. A., Haggery, P. K., Alvarez, R., 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle. Ecological Applications, 10, 1426-1441.
- CDIAC., 2005. CO2 Emission Time Series National
- Cengiz, S., Yılmaz, B. (2016). Malatya'da Arazi Kullanımı/Örtüsünün Modellenmesi, 2025-2045 Arazi Kullanımı/Örtüsü Simülasyonu. 6.Uzaktan Algılama -CBS Sempozyumu, Adana.

- ÇEM., 2015. Çölleşme ve Erozyon ile Mücadele. Land Productivity Dynamic for Land Degradation Neutrality for Two Adjacent Micro Catchments in Gediz Basin Case Study Report. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü.
- Çetin, M., 1996. Jeostatistiksel Yöntem ile Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Ceylan, Ş., 2012. Nesiller Arası Adaletle Faydacı Yaklaşım. AÜHFD, 2, 749-771.
- Civco, D., 1993. Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. International Journal of Geographical Information Systems, 7, 173-186.
- Cohen, J., 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Psychological Measurement, 20, 37-46.
- Conte, M., Nelson, E., Carney, K., Fissore, C., Olwero, N., Plantinga, A., Ricketts, T., 2011. Terrestrial carbon sequestration and storage. P. Kareiva, H. Tallis, T. H. Ricketts, G. C. Daily, S. Polasky (Ed.), Natural Capital Theory & Practice of Mapping Ecosystem Services. Great Britain. Oxford University Press.
- Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387, 253-260.
- Costanza, R., Groot, R. De, Sutton, P., Ploeg, S. Van Der, Anderson, S. J., Kubiszewski, I., R. Kerry T., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 26, 152-158. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002
- Cramer, H., 1999. Mathematical methods of statistics. Princeton: Princeton University Press.
- Cressie, N., 1990. The Origin of Kriging. Mathematical Geology. 22 (3). 239-252. Springer.

- Çağlıyan, A., Dağlı, D., 2016. Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri ve Entegre Kullanımları. TÜCAUM 2016 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara.
- Çakıl, E., 2008. Zonguldak orman bölge müdürlüğü karaçam biyokütle tablolarının düzenlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Çoban, S., Tütmez, B., 2016. Uzaklığa Bağlı İlişkiyi Kullanan Regresyona Dayalı Bir Algoritmaya Mineral Kaynaklarının Değerlendirilmesi. Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi. Antalya.
- Çokçalışkan, B. A., 2016. Korunan Alan Planlamasında Ekosistem Hizmetleri. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Çömez, A., 2010. Sündiken Dağlarında Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Çömez, A., 2011. Sündiken Dağları'ndaki (Eskişehir) Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi (Vol. Teknik Bülten No:2). Eskişehir. Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü.
- Çömez, A., 2012. Orman Ekosisteminde Karbon Hesapları. Ekoloji Dergisi.
- ÇŞB., 2012. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Türkiye'de Karbon Piyasası. Çevre Yönetimi Müdürlüğü.
- Dadhich, P. N., Hanaoka, S., 2010. Markov Method Integration with Multi-layer Perceptron Classifier for Simulation of Urban Growth of Jaipur City. 6th WSEAS International Conference Japan.
- Dağdelenler, G., 2013. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi). (Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Daly, H., 1991. Steady-State Economics (Second Edition ed.). Washington. Island Press.

- Deware, R., Cannell, M., 1992. Carbon sequestration in the trees, products and soil of forest plantations: an analysis using UK examples. *Tree Physiology*, 11, 49-72.
- Diwany, T. E., 2011. Faiz Sorunu (M. Saraç, Trans.). İstanbul: İz Yayıncılık.
- Dönmez, C., 2008. Envisat Meris Uydu Verileri Kullanılarak Seyhan Yukarı Havzası Ormanlarında Meşcere Kapalılığının Haritalanması. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Dönmez, C., 2012. İklim Değişikliğinin Etkisi Altında Seyhan st-Havzası Ekosistem Bileşenlerinin Modellenmesi ve Etkileşim Düzeylerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi. Adana. Doktora Tezi.
- Du, L., Zhou, T., Zou, Z., Zhao, X., Huang, K., & Wu, H., 2014. Mapping Forest Biomass Using Remote Sensing and National Forest Inventory in China *Forest*, 5, 1267-1283.
- Dudley, N., 2008. Guidelines for Applying Protected Area Management Categories International Union for Conservation of Nature and Natural Resources-Gland. Switzerland.
- Duman, M., Önder, H., 2016. Doğal Kaynaklar ve Çevre Ekonomisi. Bursa. Ekin Yayınevi.
- Durkaya, B., Durkaya, A., Macaroğlu, K., 2012. Bartın Yöresi Karışık Meşcerelerinin Biyokütle Stok Değişimlerinin İrdelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21, 28-36.
- Eastman, J.R., 2009. IDRISI Taiga, guide to GIS and remote processing Worcester. Clark University.
- Eastman, J. R., 2016. TerrSET Manual. United States. Clark University.
- EPA., 2017. Greenhouse Gases Equivalencies Calculator - Calculations and References. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
- Erdoğan, B. U., 2016. Hidrolojik Ekosistem Hizmetlerinin Havza Planlamaya Uyarlanması. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- Evrendilek, F., 2004. Ekolojik Sistemlerin Analizi, Yönetimi ve Modellenmesi. İstanbul. Papatya Yayıncılık.
- Evrendilek, F., Berberoğlu, S., Meydan, S. T., Yılmaz, E., 2006. Quantifying Carbon Budgets of Conifer Mediterranean Forest Ecosystems, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 119, 527-543. doi: 10.1007/s10661-005-9041-4
- FAO., 2007. Toprak Kaynakları için Dünya Referans Sistemi Uluslararası Toprak Sınıflandırma, İlişkilendirme ve İletişim için Uygulama Dökümanı FAO - Dünya Toprak Kaynakları Raporu (Vol. 103). Gıda , Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü.
- Foody, G. M., 2002. Status of Land Cover Classification Accuracy Assessment. Remote Sensing of Environment, 80, 185-201.
- Forman, R. T. T., Godron, M., 1986. The Ecology of Landscape and Regions. United Kingdom. Cambridge Universty Press.
- FRA., 2010. Guidelines For Country Reporting to FRA 2010. Rome. Global Forest Resources Assessment.
- FRA., 2015. Guide for Country Reporting to FRA 2015. Rome. Global Forest Resources Assessment.
- GEF., 2012. Integrated Approach to Management of Forests in Turkey, with Demonstration in High Conservation Value Forests in the Mediterranean Region Project Report. Turkey. Global Environment Facility Investing in Our Planet.
- George, M., 2010. Kolmogorov–Smirnov Test. Springer.
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, John O., Foley, J.A., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. Environmental Research Letters, 2. doi: 10.1088/1748-9326/2/4/045023
- Gihman, İ. İ., 1975. The Theory of Stochastic Processes II. Berlin. Springer-Verlag.

- Glenday, J., 2006. Carbon storage and emissions offset potential in an East African tropical rainforest. *Forest Ecology and Management*, 235, 72-83. doi: 10.1016/j.foreco.2006.08.014
- Gonzales, R. M., Reyes, M., Paringit, E. C., 2002. Integration of Multi-agent Simulation (MAS) Techniques with Remote Sensing for Coastal Land Use Change Modeling Paper presented at the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Görücü, Ö., 2013. Karbon Ekonomisi, Karbon Yönetimi ve Türkiye'de Örnek Bir Vaka Çalışması (Ayvalı Baraj Havzası). Ankara. Orman ve Su İşleri Bakanlığı İklim Değişikliği ve Yutak Alanlar İhtisas Grubu I. İstişare Toplantısı.
- Görücü, Ö., Eker, Ö., 2009. Kahramanmaraş Ayvalı Baraj Havzasında Karbon Emisyonu ve Ekonomisi Üzerine Araştırmalar. II. Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi, Isparta.
- Gret-Regamey, A., Walz, A., Bebi, P., 2008. Valuating Ecosystem Service for Sustainable Landscape Planning in Alpine Regions. *Mountain Research and Development*, 28, 156-165. doi: 10.1659/mrd.0951
- Grossman, G. M., Kreuger, A. B., 1991. Environmental impacts of a North American free trade agreement. NBER Working Paper, 3914.
- Gülsunar, M., 2011. Ormanların Karbon Depolama Kapasitesinin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi (Düzdağ Orman İşletme Şefliği Örneği). (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Halıcıoğlu, F., Karataş, C., 2013. A social discount rate for Turkey. *Quality & Quantity*, 47, 1085-1091. doi: 10.1007/s11135-011-9585-z
- Hansen, M. C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M.S., Turubanova, A., Tyukavina, A., Townshend, J. R. G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342.

- Hengl, T., 2007. A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. Italy. European Commission Joint Research Centre (JRC) Institute for Environmental and Sustainability.
- Hengl, T., Toomanian, N., Reuter, H., Malakouti, M., 2007a. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: Lessons from Iran. *Geoderma*, 140, 417-427.
- Hengl, T., Heuvelink, G., Rossiter, D., 2007b. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*, 33, 1301-1315. doi: 10.1016/j.cageo.2007.05.001
- Hiederer, R., Köchy, M., 2011. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database JRC Scientific and Technical Reports. Italy: European Union.
- Hope, C., 2006. The marginal impact of CO₂ from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern. *Integrated Assessment*, 6.
- Huang, J., Wu, Y., Gao, T., Zhan, Y., Cui, W., 2015. An Integrated Approach based on Markov Chain and Cellular Automata to Simulation of Urban Land Use Changes. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 9, 769-775.
- Huete, A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- IPCC., 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- IPCC., 2013. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis. Fifth Assessment Report.
- İşcan, İ. H., Yılmaz, B., 2011. Dünya Ekonomisi Açısından İklim Değişikliği Sorunu ve Ekonomik Maliyetinin Tespitine Yönelik Analiz Yöntemleri. *Anadolu International Conference in Economics II*, Eskişehir.

- Jensen, J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective. Englewood Cliffs.
- Kaçar, B., 2012. Toprak Analizleri (3. Basım ed.). Ankara. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık
- Kalıpsız, A., 1993. Odunların Ölçümü-Ağacın Ölçümü-Orman Envanteri-Meşcere Ölçümü-Meşcere Gelişmesinin Ölçümü-Diğer Konularda Ölçüm ve Sayım Yöntemleri. İstanbul. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Koopmans, T., 1965. On the Concept of Optimal Economic Growth. Econometric Approach to Development Planning, 225-287. North-Holland Publishing Co.
- Kumar, N., 2009. Investigating the Potentiality of Regression Kriging in the Estimation of Soil Organic Carbon Versus the Extracted Result from the Existing Soil Map. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. The Netherlands. PhD Thesis.
- Kumar, S., 2013. Integrated Assessment Model of Climate Change: DICE/RICE Model.
- Kumar, S., Radhakrishnan, N., Mathew, S., 2014. Land use change modelling using a Markov model and remote sensing. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 5, 145-156.
- Lal, R., 2008. Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. Energy Environmental Science, 1(1). DOI: 10.1039/B809492F
- Lal, R., 2010. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. BioScience, 60, 708-721.
- Lal, R., 2014a. Societal value of soil carbon. Journal of Soil and Water Conservation, 69, 186-192. doi:10.2489/jswc.69.6.186A
- Lal, R., 2014b. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science, 304 (1623-1627).

- Levy, P., 2004. Biomass Expansion Factor and Root:Shoot Ratios for Coniferous Tree Species in Great Britain. England: Center for Ecology & Hydrology (CEH).
- Liu, S., Costanza, R., Farber, S., Troy, A., 2010. Valuing ecosystem services Theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. Annual of the New York Academy of Sciences (Ecological Economics Reviews), 54-78.
- Liu, Y., 2009. Modelling Urban Development With Geographical Information Systems And Cellular Automata. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Makineci, E., Yılmaz, E., Kumbaşı, M., Yılmaz, H., Çalışkan, S., Sevgi, O., Keten, A., Zengin H., Beşkardeş, H., Özdemir, E., 2011. Kuzey Trakya koruya tahvil meşe ekosistemlerinde sağlık durumu, biyokütle, karbon depolama ve faunistik özelliklerin belirlenmesi. TOVAG-107O750. TÜBİTAK.
- Malone, B., 2013. Use R for Digital Soil Mapping. Australian. Soil Security Laboratory The University of Sydney.
- Mas, Jean-François, Filho, B. Soares, P., Robert G., Gutiérrez, M. F., Rodrigues, H., 2013. A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2, 869-887.
- Matheron, G., 1969. Traite de geostatistique appliquee. Memoires du Bureau de Recherches GeologiMinieres. Editions Technip. Paris. Vol 14.
- MEA., 2003. Millennium Ecosystem Assessment Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington. Island Press.
- MEA., 2005. Millennium Ecosystem Assessment Ecosystem and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington.
- MEA., 2007. Millennium Ecosystem Assessment A Toolkit for Understanding and Action Protecting Nature's Sevices, Protecting Ourselves. Washington.
- Meng, Q., Liu, Z., Borders, B., 2013. Assessment of regression kriging for spatial interpolation-comparisons of seven GIS interpolation. Cartography and Geographic Information Science, 40. 28-39.

- Mercan, M., 2013. Türkiye için Alternatif Mitgasyon Uygulamalarının Ekonomik Analizi: Genel Denge Analizi. (Doktora Tezi), Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Meydan, S., Evrendilek, F., Berberoğlu, S., Dönmez, C. (2010). Modeling aboveground litterfall in eastern Mediterranean conifer forests using fractional tree cover, and remotely sensed and ground data. *Applied Vegetation Science*, 13: 485-497.
- Mirici, M. E., Berberoğlu, S., Çilek, A., 2015. Karasal Karbon Depolama Kapasitesinin Orman Düzeyinde Tahmin Edilmesi Amacıyla Geomatik Teknolojilerden Yararlanılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7, 21-33.
- Mirici, M. E., Şatır, O., & Berberoğlu, S., 2016. Yukarı Seyhan Havzası Arazi Örtüsü Değişiminin Hibrit Sınıflama Yaklaşımı İle Tahmin Edilmesi. VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Adana.
- Mirici, M. E., Berberoğlu, S., 2017. İklim Değişimi Çerçevesinde Karbon Ekonomisi, Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC) ve RICE Modeli. VI. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKTEK. İstanbul.
- Mishra, V. N., Rai, P. K., 2016. A remote sensing aided Multi-Layer Perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India. *Arabian Journal of Geosciences*, 4.
- Miteva, D. A., Kennedy, C. M., Baumgarten, L., 2014. Carbon valuation applied to Brazilian Cerrado. *The Nature Conservancy*.
- Mondal, A., Khare, D., Kundu, S., Mondal, S., Mukherjee, S., Mukhopadhyay, A., 2016. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by using remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Scape Sciences*, 20 (1). DOI: 10.1016/j.ejrs.2016.06.004.
- Munoz-Rojas, M., Jordan, A., Zavala, L. M., Rosa, D., Abd-Elmabod, S. K., Anaya-Romero, M., 2012. Organic carbon stocks in Mediterranean soil types under different land uses (Southern Spain). *Solid Earth*, 3, 3.

- NOAA., 2017. National Oceanic and Atmospheric Administration United States Department of Commerce Global Monitoring Division (GMD).
- Nelson, E, Mendoza, G, Regetz, J, Polasky, S, Tallis, H, Cameron, D, Shaw, M. 2009a. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 4-11. doi: 10.1890/080023
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D. R, Shaw, M. R., 2009b. Appendix-Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales.
- Nordhaus, W., 1991. To Slow or Not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect. *The Economic Journal*, 101, 920-937.
- Nordhaus, W., 2010. Economic aspect of global warming in post-Copenhagen environment. *PNAS*, 107, 11721-11726. doi: 10.1073/pnas.1005985107
- Nordhaus, W., 2011. Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the RICE-2011 Model. Cowles Foundation Discussion Paper 1826.
- Nordhaus, W., Sztorc, P., 2013. DICE 2013R Introduction and User Manuel.
- Nordhaus, W., 2014. Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Result from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economist*, 1, 273-312.
- Nordhaus, W., 2017. Revisiting the social cost of carbon. *PNAS* 144, 1518-1523.
- ÖBM., 2014. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Adana Orman Bölge Müdürlüğü. Orman Amenajman Planı (2002-2014: 2014-2033).
- OGM., 2015. Türkiye Orman Varlığı Raporu. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Olea, R.A., 1977. Measuring Spatial Dependence with Semivariograms. Kansas Geological Survey. Series on Spatial Analysis. Lawrence.
- Öztemel, E., 2012. Yapay Sinir Ağları. İstanbul. Papatya Yayıncılık.

- Öztürk, A., Türker, M. F., Pak, M., 2009. Economic valuation of externalities linked to Turkish forest. *African Journal of Agricultural Research*, 4(11), 1251-1259.
- Öztürk, D., 2013. Hücresel Otomat-Markov Zinciri Yöntemiyle Samsun Kıyı Alanlarındaki Mekansal Değişimin Modellenmesi. Ankara, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- Pamukçu, P., 2015. Ekosistem Hizmetlerinin Peyzaj Planlama Sürecine Entegrasyonu. İstanbul Üniversitesi Doktora Tezi.
- Pehlivan, S., 2014. Türkiye'deki Bitkisel Kütle Çalışmalarının Değerlendirilmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta.
- Poeplau, C., Vos, C., Don, A., 2017. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *SOIL*, 3, 61-66. doi: 10.5194/soil-3-61-2017
- Polat, O., Polat, S., Akça, E., 2012. Küresel Isınmada Ormanların Karbon Tutulumuna Etkisi (Tarsus-Karabucak Örneği). *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi Özel Sayı*.
- Quéré, C. L., Canadell, G. 2013. Global Carbon Project, International Geosphere-Biosphere Programme.
- Ramsey, F. (1928). A Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal*, 38, 543-559.
- REC. (2015). A'dan Z'ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi. Bölgesel Çevre Merkezi – REC Ankara.
- Rokach, L., Maimon, O., 2008. Data Mining with Decision Trees Theory and Applications: World Scientific Publishing.
- Saatçi, F., 1975. Toprak İlmi. İzmir. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I: Yapay Sinir Ağları. *Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık*.

- Şahin, Ü., 2013. İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu. İstanbul Politikalar Merkezi (İPM).
- Sakin, E., Deliboran, A., Sakin, E. D., Tutar, E., 2010. Organic and inorganic carbon stocks and balance of Adana city soils in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5(19), 2737-2743.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Saranpää, P., 2003. *Wood Quality and Its Biological Basis*: Blackwell Publishing.
- Schröter, M., 2015. Conceptual basis and spatial modelling to account for and conserve multiple ecosystem services in Telemark County, Norway. (PhD Thesis), Wageningen University.
- Sellers, P. J., Dickinson, R., Randall, A., Betts, A., Hall, F., Mooney, A., Sellers, A. H., 1997. Modeling The Exchanges Of Energy, Water and Carbon Between Continents and The Atmosphere. *Science*, 502-509.
- Serengil, Y. (2016). Sürdürülebilir Arazi Planlama Çalışmalarını Destekleyecek Bir İklim Değişikliği-Ekosistem Hizmetleri Yazılımının Geliştirilmesi Projesi-112Y096. TÜBİTAK.
- Shafik, N., 1994. Economic development and environmental quality: An econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, 46, 757-773.
- Sharp, R., Chaplin, K., Rebecca, Wood, S., Guerry, A., Tallis, H., Ricketts, T., 2016. *The Natural Capital Project InVEST +VERSION+ User's Guide*. United States: Stanford University The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Sil, A., Fonseca, F., Gonçalves, J., Honrado, J., Marta-Pedroso, C., Alonso, J., Azevedo, J. C., 2017. Analysing carbon sequestration and storage dynamic in changing mountain landscape in Portugal: insights for management and planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem ServicesManagement*, 13 (2), 82-104. doi: 10.1080/2153732.2017.1297331

- Sivrikaya, F., Bozali, N., 2012. Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi: Türkoğlu Planlama Birimi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Özel Sayı, 69-76.
- Smith, J. E., Heath, L. S., Skog, K. E., Birdsey, R. A., 2006. Methods for Calculating Forest Ecosystem and Harvested Carbon with Standard Estimates for Forest Types of the United States General Technical Report NE-343. United States. United States Department of Agriculture Forest Service.
- Sönmez, B., Özbahçe A., Keçeci, M., Aygül, S., Aksoy, E., Madenoğlu, S., Karabulut, A., İncirkuş, V., Gorgisen, C., Tuncay, T., Beernaerst, I., Vargas, R., 2017. Turkey's National Geospatial Soil Organic Carbon Information System. Global Symposium on Soil Organic Carbon. FAO. Italy.
- Stern, D. I., 2003. The Environmental Kuznets Curve. International Society for Ecological Economics Internet Encyclopaedia of Ecological Economics.
- Stern, N., 2006. The Economic Effects of Climate Change The Stern Review: Cambridge University Press.
- Sun, O., Uğurlu, S., Özer, E., 1980. Kızılcım (Pinus brutia ten.) ait biyolojik kütleinin saptanması. (Vol. 104): Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Şener, A., 2015. Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü Farklı Meşcere Kuruluşlarında Karbon Ekonomisi Üzerine Araştırmalar. (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Talu, N., Özüt, H., 2011. Seyhan Havzasında İklim Değişikliğine Uyum Stratejik Adımlar. MDG Achievement Fund.
- Tanrıöver, A. A., 2011. Adana Kentsel Gelişiminin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Modellenmesi. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Taşdemir, M., 2006. Dinamik Genel Denge Modellerinde Zamanlararası Tercihler: İndirgenmiş Fayda Teorisi Ve Yetersizlikleri. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 12, 114-129.
- Tezer, A., 2011. Ekosistem Servislerinin Kent Planlamaya Entegrasyonu Projesi-108K615.TÜBİTAK.
- Tobin, B., Nieuwenhuis, M., 2007. Biomass expansion factor for Sitka spruce in Ireland. European Journal of Forest Resource, 126, 186-196.
- Tol, R., 2005. The marginal damage cost of carbon dioxide emissions: an assessment of uncertainties. Energy Policy, 33, 435-449.
- Tol, R., 2008. The social cost of carbon:trends, outliers and catastrophes. Economics The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 2.
- Tol, R., Anthoff, D., 2010. FUND-Climate Framework for Uncertainty Negotiation and Distribution.
- Tol, R., 2009. The Economic Effects of Climate Change. Journal of Economic Perspectives, 23, 29-51.
- Tolessa, T., Senbeta, F., Kidane, M., 2017. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. EcosystemServices,23,47-54.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.010>
- Tolessa, T., Senbeta, F., Kindane, M., 2017. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. Ecosystem Services, 23, 47-54. doi: 10.1016/j.ecoser.2016.11.010
- Tolunay, A., Başsüllü, Ç., 2015. Willingness to Pay for Carbon Sequestration and Co-Benefits of Forests in Turkey. Sustainability, 7, 3311-3337.
- Tolunay, D., 2009. Total Carbon Stock and Carbon Accumulation in Living Tree Biomass in Forest Ecosystems of Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry (TÜBİTAK), 35, 265-279.

- Tolunay, D., Çömez, A., 2008. Türkiye Ormanlarında Toprak ve Ölü Örtüde Depolanmış Organik Karbon Miktarları Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu Hatay.
- Townshend, J., Justice, C., Skole, D., Malingreau, J., Cihlar, J., Teillet, P., Ruttenger, S., 1994. The 1 km Resolution Global Data Set: Needs of The International Geosphere-Biosphere Programme. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 231-255.
- Tomislav, H., Heuvelink, G., Rossiter, D., 2007. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*, 33, 1301-1315.
- Tunahan, H., 2010. Küresel İklim Değişikliğini Azaltmanın Bir Yolu Olarak Karbon Finansmanı. *Muasebe ve Finans Dergisi (MUFAD)*, 46.
- Tülek, B., 2017. Çankırı, Ilgaz Bölgesi Peyzajlarının Sağladığı Faydaların Peyzaj Yapıları, Karakterleri ve Fonksiyonları Açısından Çok Yönlü Analizi. (Doktora Tezi), Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Türkeş, M., 2001. Küresel iklimin korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye. TMMOB Makine Mühendisleri Odası. Süreli Teknik Yayın. 61.
- Uğurlu, S., Araslı, B., Sun, O., 1976. Stepe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde biyolojik kütlede saptanması. 80. Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Ülküdur, M., 2010. Antalya orman bölge müdürlüğü sedir meşcerelerinin biyokütle tablolarının düzenlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Bartın Üniversitesi, Bartın.
- UNDP., 2007. United Nations Development Programme. Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi. G. Apak, B. Ubay (Ed.), Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- UNDP., 2010. United Nations Development Programme. Türkiye İklim Değişikliği Beşinci Ulusal Bildirimi Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı. Ankara. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

- Ünsal, A., 2007. Adana orman bölge müdürlüğü karaisali orman işletme müdürlüğü kızılçam biyokütle tablolarının düzenlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Uyar, S., Cengiz, E., 2011. Karbon (Sera Gazı) Muhasebesi. İSMMMO.
- Uzunkaya, Z. C., Uzunkaya, M., 2012. Türkiye İçin Ekonomik İndirgeme Oranı Tahmini: Yatırım Programlama, İzleme ve Değerlendirme Genel Müdürlüğü.
- Voora, V. A., Venema, H. D., 2008. The Natural Capital Approach A Concept Paper. Canada. International Institute for Sustainable Development
- Walter, V., 2004. Object-based classification of remote sensing data for change detection. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 58, 225-238.
- WCED., 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Sustainability. Oxford University Press. United Nations.
- Wells, W. K., 2010. Object-Based Segmentation and Classification of One Meter Imagery for Use in Forest Management Plans. (Master of Thesis), Utah State University, ABD.
- Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, T., Bayaer, W., 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. International Journal of Remote Sensing, 27, 2411-2422.
- Xu, X., Liu, W., Zhang, C., Kiely, G., 2011. Estimation of soil organic carbon stock and spatial distribution in the Republic of Ireland. Soil Use and Management.
- Yavuz, H., 1992. Değişik Yaşlı Meşcerelerde Büyümenin Markov Zincirleri Yöntemi ile Analiz Edilmesi. (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi. Trabzon.

Yiğini, Y., Panagos, P., 2016. Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of the Total Environment*, 557, 838-850.

Yolasığmaz, H. A., Çavdar, B., Demirci, U., Aydın, İ. Z., 2016. İki farklı yöntemle göre karbon birikimlerinin tahmin edilmesi: Artvin Orman İşletme Şefliği örneği. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 17(1), 43-51.



ÖZGEÇMİŞ

Merve ERSOY MİRİCİ, 01.05.1988 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’de tamamladı. Lisans öğrenimine 2006 yılında Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü’nde başladı ve bu bölümden 2010 yılında mezun oldu. 2011 yılında Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2010 yılında Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimini 2012 yılında tamamladı. 2013 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başlayarak farklı projelerde proje asistanı olarak görev aldı ve doktora eğitimini 2017 yılında tamamladı.



EKLER



Himmetli-12	61282	62850	62098	1567.68	815.78
Himmetli-13	1764840	1785460	1791290	28450.60	37219.50
Himmetli-14	836975	844507	860115	7532.05	23139.70
Himmetli-15	2010210	2018690	2046990	8472.84	36775.60
Kilicmehmet-1	555835	586894	605450	32085.00	50340.80
Kilicmehmet-2	1141020	1169120	1208430	28099.00	67407.80
Kilicmehmet-3	2376670	2419520	2478530	43739.50	104377.00
Salbas-1	757504	762340	778473	5421.19	21757.20
Salbas-2	682523	674716	684369	-4423.22	4265.78
Salbas-3	585486	596910	604170	14558.20	20080.70
Sariahmetli-1	1432680	1478960	1537930	47472.50	106407.00
Sariahmetli-2	698889	702111	711385	3221.38	12495.30
Sariahmetli-3	1810120	1860120	1945520	49991.70	135391.00
Sariahmetli-4	392028	393434	399527	4236.94	10222.00
Sariahmetli-5	155189	157133	159203	1943.82	4014.02
Sariahmetli-6	1166490	1189480	1282320	22997.40	115833.00
Uctepe-1	633383	639634	650412	6250.21	17028.70
Uctepe-2	2239110	2255720	2297970	23148.30	67411.20
Uctepe-3	1497880	1528810	1555750	31707.60	58956.60
Uctepe-4	553788	563196	567806	9663.29	14272.50
Uctepe-5	733385	739699	747037	6314.52	13652.60
Uctepe-6	758133	779566	784039	21433.80	25906.70
Uctepe-7	262258	273113	277232	10855.30	14974.00
Uctepe-8	602928	617503	634430	14574.60	31501.70
Uctepe-9	1560720	1579530	1618470	19848.80	58788.70
Uctepe-10	630621	650157	661805	19536.50	31184.50
Uctepe-11	449809	462043	472617	12233.90	22808.20
Uctepe-12	673105	691695	709165	18590.70	36059.90
Uctepe-13	537239	559276	574088	22037.90	36849.20
Uctepe-14	87895	91835	88655	3939.50	759.91
Uctepe-15	607018	616323	630423	10627.80	24549.30
Uctepe-16	796892	777561	801539	-17765.80	6221.98