

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MURAT NEHRİ HAVZASI REHABİLİTASYON PROJESİ
KAPSAMINDA ÇAPAKÇUR MİKRO HAVZASINDA YAPILAN
ÇALIŞMALARIN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KARBON YUTAK
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sefa KURTKAYA**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Alaaddin YÜKSEL**

Bingöl-2025

**MURAT NEHRİ HAVZASI REHABİLİTASYON PROJESİ KAPSAMINDA
ÇAPAKÇUR MİKRO HAVZASINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİ VE KARBON YUTAK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Prof. Dr. Alaaddin YÜKSEL danışmanlığında, Sefa KURTKAYA tarafından hazırlanan bu çalışma 12/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Alaaddin YÜKSEL	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Abdulkadir SÜRÜCÜ	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında Çapakçur Mikro Havzası'nda yapılan çevresel iyileştirme çalışmalarının iklim değişikliği ve karbon yutak kapasitesine olan etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın odak noktası, bölgedeki ekosistem sağlığının iyileştirilmesi ve karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla yapılan rehabilitasyon çalışmalarının, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadeledeki katkılarını değerlendirmektir. Projenin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlaması ve bölgesel iklim değişikliği stratejilerine nasıl etki ettiği de bu araştırmanın önemli bir parçasıdır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana rehberlik eden ve değerli katkılarıyla yön veren danışman hocam Prof. Dr. Alaaddin YÜKSEL'e ve Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde görev yapan bütün hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, desteklerinden dolayı Bingöl Orman İşletme İl Müdürlüğü personeline teşekkürü borç bilirim. Son olarak, bu süreçte maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

Sefa KURTKAYA

Bingöl-2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. İklim Değişikliği Kavramı.....	9
2.2. Karbon Yutak Kavramı.....	10
2.3. Orman Topraklarında Karbon Birikimi.....	14
2.4. Küresel Karbon Döngüsü ve Karbon Depolaması.....	15
2.5. Türkiye Orman Topraklarındaki Karbon Miktarları.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Araştırma Alanı.....	21
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Arazi Çalışmaları.....	26
3.2.2. Amenajman Planı ve Güncel Arazi Kullanımı.....	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Murat Nehri Havzasının Tanıtımı.....	34
4.2. Çapakçur Mikro Havzası'nın Coğrafi, İklimsel ve Ekolojik Özellikleri.....	36
4.2.1. Mikro Havzanın Coğrafi Özellikleri.....	38
4.2.2. Havzanın İklim Özellikleri.....	39
4.2.3. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Toprak Özellikleri.....	39
4.2.4. Çalışma Alanının Bitki Örtüsü.....	41
4.3. Çapakçur Mikro Havzası'nda Uygulanan Faaliyetlerin İklim Değişikliğine ve Karbon Salınımına Etkisi.....	42

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BEF	: Biyokütle genişleme faktörü
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
ÇŞİDB	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
Ha	: Hektar
EC	: Elektriksel iletkenlik
°C	: Santigrat derece
mm	: milimetre
P	: Plüvyometre (Yıllık yağış miktarı ölçme aracı)
hPa	: Hektopaskal (milibar)
OT	: Orman toprağı
m ³	: Metre küp
m ²	: Metre kare
DGH	: Dikili kabuklu gövde hacmi
TgC	: Terragram karbon
TÜBK	: Toprak üstü biyokütle
TABK	: Toprak altı biyokütle
TOB	: Tarım Orman Bakanlığı
ÇEM	: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
MH	: Mikrohavza
MNHRP	: Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi
EX-ACT	: EX-Ante Karbon Dengeleme Aracı
GHG	: Sera Gazı
tCO ₂ -e	: ton eşdeğer CO ₂
ha	: Hektar
da	: Dekar
kg	: Kilogram

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Küresel Karbon Döngüsü.....	15
Şekil 3.1. İzleme Ve Değerlendirme Sistemi.....	19
Şekil 3.2. Çapakçur Mikro Havzasının Bölgedeki Konumu.....	22
Şekil 4.1. Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi	34

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Çapakçur Mh Bölmelere Göre Faaliyet Yapılan Araziler (Ha).....	23
Tablo 3.2. Karışık Orman Ekosistemlerinde Toprakta Organik Karbon Miktarları (T/Ha)	31
Tablo 3.3. Güncel Arazi Kullanımı.....	32
Tablo 3.4. Ağaçlandırma Alanlarında Topraktaki Organik Karbon Miktarları (T/Ha)... ..	32
Tablo 4.1. Çapakçur Mikro Havzası Özet Bilgiler.....	36
Tablo 4.2. Çapakçur Mikrohavzasının Ortalama Yağış, Sıcaklık, Yağış Etkinliği İndisi ve İklim Tiplerinin Aylara Göre Dağılımı.....	39
Tablo 4.3. Bingöl İli Çapakçur Mh Ex-Act Veri Girişi İle Karbon Hesaplama Tablosu.....	46
Tablo 4.4. Bingöl İli Çapakçur Mikro Havzası Ex-Act Kümülatif Karbon Dengesi Sonuç Tablosu.....	47
Tablo 4.5. Bingöl İli Mikrohavza Bazlı Ex-Act Kümülatif Karbon Dengesi Sonuç Tablosu.....	49
Tablo 4.6. Mnhrp Mikrohavza Bazlı Ex-Act Kümülatif Karbon Dengesi Projeli ve Projesiz Durum Senaryosu.....	50

MURAT NEHRİ HAVZASI REHABİLİTASYON PROJESİ KAPSAMINDA ÇAPAKÇUR MİKRO HAVZASINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE KARBON YUTAK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında Çapakçur Mikro Havzası'nda gerçekleştirilen çevresel iyileştirme çalışmalarının iklim değişikliği ve karbon yutak açısından etkilerini incelemektedir. Proje, bölgedeki ekosistem sağlığının iyileştirilmesi ve karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla çeşitli arazi çalışmaları ve rehabilitasyon teknikleri uygulamıştır. Bu çalışma, havzanın ekolojik dengesinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır ve yapılan müdahalelerin, bölgedeki iklim değişikliğiyle mücadeledeki katkıları üzerinde durmaktadır.

Çapakçur Mikro Havzası, tarıma dayalı faaliyetlerin yoğun olduğu, çeşitli arazi kullanımı türlerinin bir arada bulunduğu bir bölgedir. Bu nedenle, yapılan rehabilitasyon çalışmalarının hem ekosistem sağlığına hem de karbon yutak kapasitesine olan etkileri, iklim değişikliğiyle mücadelede büyük bir öneme sahiptir. Arazi çalışmaları, su kaynaklarının korunması, toprak erozyonunun önlenmesi ve biyolojik çeşitliliğin artırılması gibi çevresel hedefleri içermektedir. Çalışmaların bir diğer önemli boyutu, bölgenin karbon yutak kapasitesinin artırılmasıdır. Karbon yutakları, atmosferdeki karbondioksitin emilerek depolanmasını sağlayan doğal sistemlerdir ve bu kapasitenin artırılması, iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Tez, yapılan iyileştirme çalışmalarının bu kapasiteyi artırmadaki etkilerini ve bu süreçte kullanılan yöntemleri detaylı bir şekilde incelemektedir. Ayrıca, proje kapsamında gerçekleştirilen toprak ve su yönetimi, ormanlaştırma çalışmaları ve biyolojik çeşitlilik artışı gibi müdahalelerin, bölgedeki karbon depolama kapasitesini nasıl güçlendirdiği üzerinde durulmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez, Murat Nehri Havzası'nda yapılan rehabilitasyon çalışmalarının bölgesel iklim değişikliği ile mücadeleye nasıl katkı sağladığını ve Çapakçur Mikro Havzası'ndaki karbon yutak kapasitesini nasıl artırdığını ortaya koymaktadır. Çalışma, bu tür projelerin sürdürülebilir çevresel yönetim açısından taşıdığı önemi vurgulamaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğine karşı alınacak önlemler ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik bölgesel stratejilerin geliştirilmesinde rehber olabilecek bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Murat Nehri Havzası, Çapakçur Mikro Havzası, İklim Değişikliği, Karbon Yutakları, Rehabilitasyon Projesi.

EVALUATION OF THE STUDIES CARRIED OUT IN THE ÇAPAKÇUR MICRO BASIN WITHIN THE SCOPE OF THE MURAT RIVER BASIN REHABILITATION PROJECT IN TERMS OF CLIMATE CHANGE AND CARBON CAPTURE

ABSTRACT

This thesis investigates the impact of the environmental improvement activities conducted in the Çapakçur Micro Basin, as part of the Murat River Basin Rehabilitation Project, on climate change and carbon sink capacity. The project has applied various field studies and rehabilitation techniques with the aim of improving ecosystem health and reducing carbon emissions. This study plays a crucial role in restoring the ecological balance of the basin and focuses on the contribution of these interventions to the fight against climate change.

The Çapakçur Micro Basin is an area characterized by intense agricultural activities and a mixture of land use types. Therefore, the impact of the rehabilitation activities on both ecosystem health and carbon sink capacity is vital in the fight against climate change. The field studies involved in the project aim to address environmental objectives such as water conservation, soil erosion prevention, and enhancement of biodiversity. An important aspect of the work is the enhancement of the basin's carbon sink capacity. Carbon sinks are natural systems that absorb and store atmospheric carbon dioxide, and increasing this capacity plays a critical role in combating climate change. This thesis thoroughly examines the effects of the environmental improvement activities on increasing carbon sink capacity, as well as the methods used in the process. Furthermore, the thesis focuses on interventions such as soil and water management, afforestation efforts, and the increase of biodiversity, and how these have strengthened the carbon storage capacity in the region.

In conclusion, this thesis presents how the rehabilitation activities carried out in the Murat River Basin contribute to regional efforts in combating climate change and how they enhance the carbon sink capacity of the Çapakçur Micro Basin. The study highlights the importance of such projects in sustainable environmental management and provides findings that can serve as a guide in the development of regional strategies to mitigate climate change and reduce carbon emissions.

Keywords: Murat River Basin, Çapakçur Micro Basin, Climate Change, Carbon Sinks, Rehabilitation Project.

1. GİRİŞ

Murat Nehri Havzası, Türkiye'nin önemli su kaynaklarından biridir. Çapakçur Mikro Havzası, bu geniş ekosistemin bir parçası olarak yerel ekosistem hizmetlerini (su kaynaklarının korunması, biyolojik çeşitlilik, tarım ve orman ürünleri) destekler. Ancak, bölgedeki doğal kaynakların aşırı kullanımı ve iklim değişikliği baskıları nedeniyle havza bozulma riski altındadır.

Günümüzde doğal ve kültürel kaynakların hızla tükenmesine rağmen, bu süreci durdurabilecek etkili koruma stratejileri yeterince geliştirilememektedir. Var olan kaynaklar ise, yanlış arazi kullanımları ve aşırı faydalanma nedeniyle ciddi tehdit altındadır. Bu kaynakların sürdürülebilir şekilde korunabilmesi için, ekolojik yapının gözetildiği ve uygun arazi kullanım kararlarının alındığı bir planlama yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğal kaynakların sınırlarını belirlemede en temel birimler küçük, orta ve büyük ölçekli havzalardır. Bu bağlamda, mikro havzalar yerel ölçekte doğal kaynak envanterinin oluşturulmasında en kritik alanları oluşturmaktadır. Bingöl ilinde yer alan Çapakçur Mikro Havzası, sahip olduğu doğal ve kültürel değerlerle tarımsal üretim ve rekreasyonel kullanım açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu kaynakların belirlenip değerlendirilmesi, mikro havzanın bu doğrultuda planlanması ve doğal yapısının korunarak sürdürülebilirliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır (Yüksel vd., 2020).

İklim değişikliği, son yüzyılda insan faaliyetlerinin etkisiyle giderek hızlanan ve dünya ekosistemleri üzerinde derin etkilere yol açan küresel bir sorun haline gelmiştir. Atmosferdeki sera gazı birikimi, küresel ısınmayı tetiklemekte ve bu durum ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır. Özellikle karbondioksit (CO₂) gibi uzun ömürlü sera gazlarının atmosferdeki artışı, iklim sisteminde geri döndürülemez değişikliklere yol açma potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, karbon yutakları olarak bilinen doğal ekosistemler, atmosferdeki karbondioksitin depolanması ve iklim değişikliği ile mücadele açısından büyük önem taşımaktadır.

Karbon yutakları, atmosferdeki karbondioksit gibi sera gazlarını emerek toprağa, bitkilere ve diğer organik bileşenlere depolayan doğal sistemlerdir. Ormanlar, sulak alanlar, topraklar ve okyanuslar, dünyanın başlıca karbon yutakları arasında yer alır. Bu ekosistemlerin korunması ve onarılması, yalnızca karbon yutma kapasitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunmasına da katkıda bulunur. Bu durum, sürdürülebilir çevre yönetimi için kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliğiyle mücadelede havza rehabilitasyon projeleri gibi çevresel uygulamaların önemi giderek artmaktadır (TÜİK, 2023).

Türkiye, çeşitli coğrafi bölgelerinde farklı ekosistemleri barındıran ve bu ekosistemlerin iklim değişikliği üzerindeki etkilerini dengelemek için çeşitli projeler yürüten bir ülkedir. Özellikle Murat Nehri Havzası, sahip olduğu doğal zenginlikler ve ekolojik yapısı nedeniyle önemli bir karbon yutak alanı olarak öne çıkmaktadır. Murat Nehri'nin en önemli alt havzalarından biri olan Çapakçur Mikro Havzası, yoğun insan faaliyetleri ve erozyon gibi çevresel sorunlar nedeniyle zaman içinde önemli derecede bozulmaya uğramıştır. Bu durum hem yerel ekosistemlerin dengesini bozmuş hem de karbon yutma kapasitesinin azalmasına neden olmuştur.

İklim değişikliğiyle mücadelede karbon yutaklarının rolü her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, Çapakçur Mikro Havzası'nda gerçekleştirilen rehabilitasyon çalışmaları yalnızca bölgenin ekolojik dengesini yeniden tesis etmeyi değil, aynı zamanda karbon tutma kapasitesini artırarak iklim değişikliğinin etkilerini azaltmayı da amaçlamaktadır.

Bölgedeki yağış rejimi ve sıcaklık düzeyleri, ekosistem çeşitliliğinin şekillenmesinde belirleyici unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, iklimdeki değişimlerin doğal ekosistemler üzerinde önemli yapısal ve işlevsel dönüşümlere yol açacağı öngörülmektedir. Ağaçların biyokütle miktarlarını hesaplamak, kesim işlemleri, kök sistemlerinin çıkarılması, kurutma ve tartma gibi oldukça zahmetli ve maliyetli yöntemleri gerektirdiğinden, bu alandaki çalışmalar ciddi teknik zorluklar içermektedir (Yıldırım, 2019).

2015 yılında Paris'te gerçekleştirilen COP21 İklim Zirvesi'nde, küresel sıcaklık artışının 2°C'nin altında, mümkünse 1.5°C ile sınırlandırılması konusunda uzlaşa sağlanmıştır.

Hukuki bağlayıcılığı bulunan bu anlaşma kapsamında, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve sera gazı salımlarının düşürülmesi temel hedefler arasında yer almıştır. Bu doğrultuda, tüm ülkeler belirli aralıklarla ulusal stratejilerini oluşturmak ve güncellemekle yükümlüdür. Küresel ısınmanın etkilerini azaltmada orman ekosistemleri hayati bir öneme sahiptir. Ormanlar, diğer doğal ekosistemlerle birlikte, her yıl insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %30'unu atmosferden absorbe etmektedir. Bu doğrultuda yürütülen projeler kapsamında, tahrip edilmiş orman, mera ve tarım alanlarının rehabilitasyonu amaçlanmıştır; ayrıca kırsal kesimlerde enerji verimliliği yüksek teknolojilerin kullanımı teşvik edilerek doğaya salınan karbon miktarının azaltılması hedeflenmiştir (Yılmaz, 2022).

Son dönemlerde yapılan araştırmalarda, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yaygın ağaç türlerinin biyokütle tahminleri allometrik modeller kullanılarak ortaya konulmuştur (Durkaya ve ark., 2009; 2010a; 2010b). Ancak, ülke genelinde orman ekosistemlerinde depolanabilecek karbon miktarını değerlendirmeye yönelik kapsamlı araştırmaların sayısı hâlâ sınırlıdır (Yıldırım, 2019).

Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi, ekosistem tahribatını durdurmak ve karbon yutaklarını yeniden canlandırmak amacıyla başlatılmış bir projedir. Projenin özel bir parçası olan Çapakçur Mikro Havzası'nda yapılan çalışmalar, bölgenin çevresel ve iklimsel özelliklerini göz önünde bulundurarak doğal bitki örtüsünün yenilenmesi, su kaynaklarının yönetimi ve toprak erozyonunun önlenmesi gibi hedeflere odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışması, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında Çapakçur Mikro Havzası'nda gerçekleştirilen çalışmaların, karbon yutma kapasiteleri ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, havzanın rehabilitasyonu sonrası karbon yutak kapasitesinde meydana gelen değişiklikler değerlendirilmiş ve bu değişikliklerin iklim değişikliğine etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmaların yerel ekosistem üzerindeki uzun vadeli etkileri ve sürdürülebilir çevre yönetimi bağlamında nasıl bir rol oynadığı tartışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Türkiye’de ormanlık alanlardaki biokütle birikimine yönelik ilk bilimsel araştırmalar, Uğurlu ve arkadaşları (1976) ile Sun ve arkadaşları (1980) tarafından gerçekleştirilmiştir. Uğurlu ve ekibi, Ankara’nın Kızılcahamam ilçesindeki Sarıçam meşcerelerinde yürüttükleri çalışmada, yüzeyde biriken biyokütle miktarını tahmin ederek bu türün ekosistem içindeki katkısını ortaya koymuşlardır. Bunu izleyen yıllarda Saraçoğlu (1988), Doğu Karadeniz Bölgesi’nde kurduğu 55 deneme alanında kayın ağaçları üzerinde gerçekleştirdiği ölçümlerle, 510 bireye ait verileri regresyon analizleri ile değerlendirerek hacim ve biyokütle tabloları geliştirmiştir.

Daha geniş kapsamlı bir değerlendirme ise Asan (1999) tarafından yapılmış ve Türkiye ormanlarının 1960, 1975 ve 1995 yıllarındaki durumunu analiz eden ayrıntılı bir rapor yayımlanmıştır. Bu çalışmada dikili ağaç hacmi ve tahmini biyokütle miktarlarına odaklanılmış, ayrıca üç farklı orman türü için Biyokütle Genişleme Faktörleri (BGF) hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, iğne yapraklı ağaçlar için BGF 1.20, geniş yapraklılar için 1.25, baltalık ormanlar için ise 1.40 olarak belirlenmiştir.

Tolunay (2009) ise, 2004 yılında tamamlanan Ulusal Envanter Raporu (NIR) verilerinden yararlanarak hem yer üstü hem de yer altı biyokütle içinde depolanan karbon miktarına dair hesaplamalar yapmış ve bu alandaki bilgi birikimine önemli katkılar sunmuştur.

Moraes ve arkadaşları (1996), Brezilya’nın Rondonia bölgesinde, arazi örtüsü haritalama ve karbon havuzlarının tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Amazon bölgesinin güneybatısında, farklı dönemlerde meraya dönüştürülen alanlarda karbon havuzları ve atmosferdeki toz değişimlerini incelemek amacıyla Landsat TM uydu verileri kullanılmıştır. Görüntü işleme teknikleri ve kontrollü sınıflandırma yöntemleri sayesinde, farklı yaşlardaki mera ve ormanlık alanlara yönelik detaylı bir arazi örtüsü haritası üretilmiştir. Sonuçlar, doğal ormanların yaklaşık %30’unun meralara ve ormansızlaşmış alanlara dönüştürüldüğünü göstermiştir.

Ganuza ve Almendros (2003), toprakta bulunan organik karbon miktarını belirleyen temel faktörlerden biri olarak sıcaklığın rolünü vurgulamışlardır. Çalışmada, toprak özelliklerinden katyon değişim kapasitesi ve toprak türünün, organik madde miktarı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Bulgulara göre, katyon değişim kapasitesindeki artış karbon miktarını artırırken, kum oranının yükselmesi karbon stokunu azaltıcı bir etki göstermiştir.

Kraenzel ve arkadaşları (2003), Panama’da bulunan *Tectonia grandis* ağaçlandırmalarında, toprak üstü ve toprak altı bitkisel kütleleri incelemiştir. Ağaçların göğüs çapı ile toplam karbon miktarı arasındaki ilişki, regresyon denklemleri kullanılarak modellenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ağaçlarda 120 t/ha, ölü örtüde 3,4 t/ha, alt tabakada 2,6 t/ha ve toprakta 225 t/ha karbon depolandığı belirlenmiştir.

Myeong ve arkadaşları (2006), kentsel yeşil alanların karbon depolama kapasitesini ve bu kapasitedeki değişimleri analiz etmek için bir araştırma yapmıştır. Çalışmada, 1985, 1992 ve 1999 yıllarına ait uydu görüntüleri ile 25x25 m boyutundaki 190 örnek alandan elde edilen yersel veriler kullanılmıştır. Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi (NDVI) değerleri ile karbon depolama miktarı arasındaki ilişki modellenmiş ve bu ilişkinin doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tan ve arkadaşları (2006), kuzeydoğu Çin bölgesinde 1982-1999 yılları arasında ormanlık alanlardaki karbon depolama kapasitesindeki değişimleri uydu tabanlı yöntemlerle incelemiştir. Çalışmada, 1984-1988, 1989-1993 ve 1994-1998 yıllarını kapsayan üç dönem için orman envanter verileri ile NOAA/AVHRR normalleştirilmiş fark vejetasyon indeksi (NDVI) kullanılmıştır.

Yılmaz (2006a), Erzurum-Uzundere Karayolu çevresinde doğal olarak yetişen bitkilerin estetik ve fonksiyonel değerlendirmesini yaptığı yüksek lisans tezinde, peyzaj planlama çalışmalarına uygun 22 familyaya ait 41 odunsu ve 48 familyaya ait 286 otsu bitki türünü tespit etmiştir. Bu türlerin kaya ve kuru duvar bahçelerinde, yer örtücü olarak, estetik düzenlemelerde, su bahçesi tasarımlarında ve kentsel mekanlarda kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Hu ve arkadaşları (2007), Güney Carolina Piedmont ormanlarında 1936-2005 yılları arasında yapılan dokuz dönemlik arazi envanterini analiz ederek, orman biyokütle karbon havuzlarındaki değişimi incelemiştir. Çalışma sonucunda, ormanların karbon depolama kapasitesinin 1936'dan 2005 yılına kadar toplam 81,84 grosston arttığı ve bu artışın temel nedeninin ormanlardaki büyüme olduğu belirlenmiştir.

Yang ve arkadaşları (2008), Pearl River Deltası'nda 1989-2003 yılları arasında karbon depolama kapasitesindeki değişimi sürekli biyokütle büyüme faktörü yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışma, farklı yaş sınıflarına ait orman envanterlerine dayanmış ve bölgedeki karbon depolama miktarının %16,76 oranında arttığı, bu artışın %80'inin meşcerelerde gerçekleştiği ortaya konulmuştur.

Delang ve arkadaşları (2009), Hong Kong'daki parkların bitki örtüsü ve toprak tarafından 1978-2004 yılları arasında depolanan karbon miktarını belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Farklı yıllara ait uydu görüntüleri kullanılarak karbon depolama miktarları kontrolsüz sınıflandırma yöntemleriyle hesaplanmıştır.

Erdoğan (2009), Kayseri kentinde yol ağaçlarının estetik ve fonksiyonel açıdan değerlendirilmesine yönelik yüksek lisans tezinde, ana bulvarlardaki ağaçlandırma çalışmalarını incelemiştir. Yol ağaçlarının kent ekosistemine katkıda bulunduğu, çevresel estetik sağladığı ve yaya ile taşıt güvenliğini artırdığı vurgulanmıştır. Ayrıca farklı bitkisel tasarımların kent içinde mekân oluşturmadaki önemine dikkat çekilmiştir.

İklim değişikliği, 21. yüzyılın en büyük çevresel tehditlerinden biri olup, küresel çapta çevresel, ekonomik ve toplumsal etkiler oluşturmaktadır. Bu değişikliğin temel nedeni, atmosfere salınan karbondioksit, metan ve azot oksitleri gibi sera gazlarının artışıyla ilişkilidir (IPCC, 2021). Karbondioksit, atmosferde en yaygın olan sera gazıdır. Doğal ekosistemler, bu gazı atmosferden emerek karbon yutakları olarak işlev görür (Lal, 2004). Karbon yutaklarının korunması ve artırılması, iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir öneme sahiptir.

Yüksek araziler ve sulak alanların bitki örtüsü ve toprağı, küresel karbon döngüsünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu alanlar, doğal koşullar altında karbon dioksit ve metanı depolayarak sera gazı emisyonlarını dengelemektedir (Yıldırım, 2019). Ancak orman,

mera ve sulak alanların tarımsal ve kentsel alanlara dönüştürülmesi bu karbon stoklarını azaltmakta ve sera gazı salınımını artırmaktadır.

Karbon yutakları, doğal ve insan yapımı ekosistemlerde depolanan karbonun atmosfere salınımını engelleyerek iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle ormanlar ve toprak, dünyanın en büyük karbon yutakları arasında yer alır ve yılda milyarlarca ton karbonu emerek küresel ısınma etkilerini azaltır (Pan et al., 2011). Ormansızlaşma ve arazi bozulması, bu kapasiteyi düşürürken, yeniden ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmaları karbon yutma potansiyelini artırmaktadır (Olsson & Barbosa, 2022).

Havza rehabilitasyonu projeleri, ağaçlandırma, toprak erozyonunu önleme ve su yönetimi gibi yöntemlerle karbon yutaklarını artırmayı amaçlar. Bu projeler, doğal kaynakların korunması ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir çözümler sunar (Dixon et al., 1994). Literatürde, bu tür projelerin karbon tutma kapasiteleri üzerindeki olumlu etkileri sıklıkla vurgulanmıştır. Örneğin, Çin’de yapılan bir çalışma, havza rehabilitasyonu projelerinin karbon depolama kapasitesini artırdığını ve bu projelerin diğer ekosistem hizmetlerine de katkı sağladığını göstermiştir (Cao et al., 2009).

Türkiye’deki havza rehabilitasyonu projeleri, özellikle su yönetimi ve erozyon kontrolü bağlamında önem taşır. Murat Nehri Havzası gibi doğal alanlarda uygulanan projeler, yerel ekosistemleri iyileştirirken karbon yutak kapasitesini artırmayı hedeflemektedir (Çetinkaya vd., 2015). Ancak bu projelerin başarısı, uygulama yöntemlerinin yerel ekolojik koşullara uygunluğuna bağlıdır (Güner, 2020).

Çapakçur Mikro Havzası, Murat Nehri’nin önemli alt havzalarından biri olup hem doğal hem de insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle tahrip olmuştur. Bu tahribat, karbon yutma kapasitesinin azalmasına ve yerel ekosistemin dengesinin bozulmasına yol açmıştır (Kaya, 2018). Bölgedeki rehabilitasyon projeleri, ağaçlandırma, erozyon kontrolü ve su yönetimi uygulamalarıyla karbon yutma kapasitesini artırmayı hedeflemektedir.

Bu literatür, karbon yutaklarının artırılmasının iklim değişikliğiyle mücadeledeki önemini ortaya koymaktadır. Özellikle bozulmuş ekosistemlerin yeniden canlandırılması ve ormansızlaşmanın durdurulması, küresel ısınmanın etkilerini sınırlamada kritik bir rol

oynamaktadır. Murat Nehri Havzası gibi projeler, bu konuda örnek teşkil etmektedir ve Çapakçur Mikro Havzası özelinde yapılan rehabilitasyon çalışmalarının karbon yutma kapasiteleri üzerindeki etkileri bu tez kapsamında detaylı bir şekilde analiz edilmektedir.

2.1. İklim Değişikliği Kavramı

Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi, küresel iklim değişikliğinin etkilerinin analiz edilmesi ve bu etkilerle mücadeleye yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Türkiye'nin taraf olduğu Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve Kyoto Protokolü, bu alanda uluslararası iş birliğini teşvik eden temel belgeler arasında yer almaktadır. Bu belgeler doğrultusunda sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum sağlanması için çeşitli ulusal politikalar geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye'nin doğal kaynak yönetimine yönelik, özellikle orman, tarım ve su varlıklarını kapsayan stratejik yaklaşımlar geliştirmesi, karbon yutaklarını artırma ve depolama kapasitesini iyileştirme çabalarında hem ulusal hem de küresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayacaktır. Bu noktada, biyokütle potansiyelinin doğru ve bilimsel yöntemlerle ölçülmesi, karbon yutaklarının etkinliğini artırmanın ön koşuludur (Akkuş, 2014).

Son on beş yılda insanlığın karşı karşıya kaldığı temel çevresel sorunlar arasına küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişikliği de eklenmiştir. Bu olgular, “atmosferik tehdit” veya “gezegenin yükselen ateşi” gibi ifadelerle kamuoyuna yansıtılmıştır. Antropojenik etkiler sonucu ortaya çıkan ve “yapay iklim değişimi” olarak adlandırılan bu süreç, canlı ve cansız tüm sistemler için ciddi riskler barındırmakta ve geri döndürülemez bir boyuta ulaşma tehdidi taşımaktadır (Hertsgaard, 2001; Kadioğlu, 2001).

Hunter (2003), iklim değişikliğinin tarih boyunca doğal döngülerle meydana geldiğini ancak günümüzde yaşanan değişimlerin geçmiş dönemlere kıyasla çok daha hızlı gerçekleştiğini ve bu değişimde insan etkisinin belirleyici bir rol oynadığını vurgulamaktadır. İnsanoğlu tarihinde ilk kez doğrudan iklim sistemine müdahale etmiş ve bunun sonuçlarıyla yüzleşmek zorunda kalmıştır.

Küresel ısınma, günümüzde karşılaşılan en ciddi çevresel tehditlerden biri olarak tanımlanmakta olup, başta fosil yakıt tüketimi, sanayileşme, enerji üretimi ve

ormansızlaşma gibi insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu süreç, ekonomik büyüme ve nüfus artışı ile daha da hızlanmakta ve çevresel baskıyı artırmaktadır (Spence, 2007; Göksu, 2008).

Küresel ısınmanın başlıca nedeni olarak karbondioksit öne çıkmakta ve bu nedenle birçok bilimsel çalışma, CO₂ emisyonlarının azaltılması ya da atmosferden uzaklaştırılması üzerine yoğunlaşmaktadır (Akkuş, 2014). Cline (1992), ormanlaştırma faaliyetlerinin üç temel katkı sağlayabileceğini ifade etmektedir:

1. Fosil yakıtlardan uzaklaşarak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sürecinde zaman kazandırmak,
2. Ormanlarda yüksek miktarda karbonun depolanmasının, iklim değişikliğinin belirsizliklerine karşı esneklik sunması,
3. Fosil yakıtların yerine biyokütle temelli enerji kullanımı ile küresel ısınmaya çözüm üretmek.

Sanayi devriminden bu yana fosil yakıt tüketimi önemli ölçüde artmış; buna bağlı olarak ormansızlaşma ve arazi kullanımındaki değişiklikler atmosferdeki karbondioksit, metan ve diazot monoksit gibi sera gazlarının yoğunluğunu artırmıştır. Bu gazların artışı, güneşten gelen ısının atmosferde tutulmasına neden olmakta, böylece iklim sisteminde hassas dengeyi bozmaktadır (Babuş, 2005).

Sera etkisi, atmosferdeki sera gazlarının güneş ışınlarını geri yansıtmasını engellemesiyle oluşur ve iklim değişikliğinin temel nedenlerinden biridir. Özellikle kentleşme ile birlikte atmosfere salınan yaklaşık 40 farklı gaz, bu süreci daha da hızlandırmaktadır. Bu gazlar içinde en belirgin etkiye sahip olan karbondioksit, düşük konsantrasyonuna rağmen iklim sisteminde büyük rol oynamaktadır. Güneşten gelen uzun dalga radyasyonları absorbe edilerek Dünya üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturulmakta; fakat karbon döngüsündeki bozulmalar bu doğal dengenin tehdit altına girmesine neden olmaktadır. Sanayileşmeyle artan CO₂ emisyonları, küresel iklim değişikliğinin temel tetikleyicisi olmuştur (NOAA, 2022).

Küresel ısınmanın etkileri sınır tanımayan bir yapıya sahiptir. İklim sistemi küresel bir bütün olarak işler ve herhangi bir bölgedeki değişim, diğer bölgeleri de doğrudan etkiler. Bu nedenle iklim değişikliğiyle mücadele yalnızca ulusal çabalarla sınırlı kalmamalı; tüm dünya ülkeleri arasında güçlü ve sürekli bir iş birliği sağlanmalıdır. Bu durum, çoğu uzman tarafından, bir tarafı su alan cankurtaran sandalına benzetilerek açıklanmaktadır: Eğer bir bölgede sorun varsa, diğer bölgelerin güvende olması bir anlam ifade etmez; çözüm küresel düzeyde ortak hareket etmekten geçmektedir (Spence, 2007).

İklim değişikliği günümüzde giderek artan bir şekilde gündemde yer almaktadır. Karbondioksit, bu değişimin en temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmakta ve bitkiler tarafından fotosentez yoluyla atmosferden alınarak organik bileşiklere dönüştürülmektedir. Bitkilerdeki yaprak yoğunluğu, CO₂ alımını doğrudan etkilerken; en yüksek yaprak yoğunluğunun bulunduğu orman ekosistemleri, aynı zamanda en büyük karbon yutaklarıdır. Bu nedenle, mevcut ormanların korunması ve yeni orman alanlarının oluşturulması, atmosfere salınan CO₂'yi azaltmak adına stratejik bir öncelik taşımaktadır. Ormanların bu işlevi, iklim değişikliğiyle mücadelede temel bir araç olarak değerlendirilmektedir (Asan, 1999).

2.2. Karbon Yutak Kavramı

Küresel iklim değişikliğinin en önemli tetikleyicilerinden biri, karbon salımındaki hızlı ve kontrolsüz artıştır. Karbonun doğadaki doğal dolaşımı, ısıyı tutma ve yayma yeteneği sayesinde gezegenin sıcaklık dengesini korur; ancak bu döngü, Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar olan süreçte ciddi biçimde sekteye uğramıştır. Nüfus artışı, düzensiz kentleşme, doğal kaynakların tahribatı ve fosil yakıtların (örneğin doğalgaz) yaygın biçimde kullanılması, karbon dengesini bozarak atmosferdeki karbon yoğunluğunu kritik eşiklere taşımıştır. Bu gelişmeler sadece küresel ısınmayı tetiklemekle kalmayıp aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de ciddi tehditler oluşturmaktadır. Dolayısıyla karbon salınımlarının sınırlandırılması ve kontrol altına alınması büyük önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda hem ulusal hem de uluslararası düzeyde birçok strateji, plan ve anlaşma yürürlüğe girmiştir. Ancak bu belgelerin başarıya ulaşabilmesi, yerel yönetimlerin sahada etkili adımlar atmasına bağlıdır. Yerel ölçekte gerçekleştirilecek etkili ve

zamanında müdahaleler, iklim kriziyle mücadelede önemli bir avantaj sağlayacaktır (Eşbah, 2023).

Karbon, doğada yaygın olarak bulunan bir ametal element olup, çok yönlü özellikleriyle bilinir. Bilinen bileşiklerin %94'ünde karbon bulunmakta ve canlı organizmaların kütlesinin yaklaşık %18'ini karbon içeren yapılar oluşturmaktadır. Geriye kalan kütlenin büyük bir bölümü ise sudan oluşur. Karbon, hücrelerin yapısında yer alan temel bileşenler arasında bulunur. Doğada yaygın olarak karşılaşılan karbon bileşikleri arasında karbondioksit, kalsiyum karbonat (tebeşir), kömür, aminoasitler ve hidrokarbonlar yer alır (Wikipedia, 2020).

Karbon, biyolojik organizmalar için hayati öneme sahiptir ve ekosistemlerin devamlılığında kilit rol oynar. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin hem nedeni hem de sonucudur. Yeraltında doğal olarak bulunan kömür gibi fosil yakıtlar, yoğun karbon içeriğine sahiptir ve küresel enerji kaynaklı karbon salımlarının %36'sını oluşturur. Bitkiler, gelişim süreçlerinde karbondioksite ihtiyaç duyar. Bitki gövdelerinin yaklaşık yarısı karbondan oluşur ve bu karbon, atmosferdeki CO₂'den alınır. Atmosferdeki karbondioksit oranı %0,003 seviyesindedir ve bu yaklaşık olarak 2,7 milyar tonluk bir kütleye karşılık gelir. Fotosentezin sürdürülebilmesi için CO₂ gereklidir ve bazı türlerde artan CO₂, büyümeyi teşvik edici bir etki (gübre etkisi) yaratabilir. Ancak bu durum tüm bitkiler için geçerli değildir. Bu nedenle atmosferdeki CO₂ oranlarının dengede tutulması, sağlıklı bitki gelişimi açısından kritik öneme sahiptir (Cevizci, 2019).

Karbondioksit; tatsız, renksiz, kokusuz ve yanıcı olmayan, hafif asidik bir gazdır. Havanın yoğunluğundan 1,53 kat daha ağır olan bu gazın atmosferdeki oranı yaklaşık %0,03'tür. Zehirli olarak sınıflandırılmamakla birlikte, %30 gibi yüksek oranlara ulaştığında solunumu engelleyebilir. CO₂, motorlu taşıtların salımları, orman tahribatı, yeraltı kaynaklarının kullanımı ve sanayi faaliyetleri sırasında açığa çıkan kimyasal tepkimeler sonucu oluşur (Ayaz, 2003).

Kent içi yeşil alanlar, ormanlar kadar yüksek kapasiteli olmasa da, karbonu tutarak ekosistemin iyileştirilmesine katkı sağlar. Bu nedenle peyzaj tasarımında, bitkisel türlerin iklim ve toprak koşullarına uygunluğu gibi kriterlerin yanında, karbon depolama potansiyellerinin de dikkate alınması önemlidir (Büyüktürkmen, 2021).

Yeşil alanlar, peyzaj mimarlığının temel çalışma konularından biridir. Bitkisel unsurların yalnızca estetik katkılar sunmakla kalmayıp, aynı zamanda ekolojik sistemlerin sürdürülebilirliği için de önemli işlevleri vardır. Günümüzde hızla artan kentleşme ve doğal kaynak tüketimi karşısında, karbon döngüsü gibi çevresel süreçler hakkında bilgi sahibi olmak, peyzaj mimarlarının sorumlulukları arasındadır. Özellikle ekolojik açıdan zayıflamış kentsel bölgelerde gerçekleştirilecek peyzaj uygulamaları, karbon salınımının azaltılmasına katkıda bulunabilir. Bu tür yaklaşımlar hem meslek disiplininin gelişmesine hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu sonuçlara ulaşılmasına destek olur. Karbon döngüsünün temel basamağı, atmosferdeki karbondioksitin bitkiler tarafından fotosentez yoluyla alınmasıdır. Bitkilerin fotosentez kapasitesi türlerine göre değiştiğinden, her bölgedeki karbon emilimi de farklılık gösterebilir. Bu nedenle peyzaj mimarlarının, uyguladıkları projelerin karbon döngüsüne olan etkilerini değerlendirmeleri, hem çevreye duyarlı planlamaların hem de mesleki farkındalığın artmasını sağlayacaktır (Akkuş, 2014).

1992 yılında kabul edilip 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), iklim krizine karşı uluslararası ölçekte atılmış ilk önemli adımlardan biridir. Bu sözleşmeye, Avrupa Birliği ile birlikte toplam 189 ülke taraf olmuştur. Anlaşmanın temel hedefi, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini sınırlandırmak ve bu etkilerin tehlikeli boyutlara ulaşmasını engellemektir (Çılgın, 2006).

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında, atmosferdeki sera gazı birikimini azaltmak ve küresel sıcaklık artışını durdurmak amacıyla bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çabalar arasında çevreye duyarlı enerji kaynaklarının geliştirilmesi, sera gazlarının neden olduğu çevresel sorunların azaltılması ve karbondioksitin atmosfere salınmadan farklı karbon bileşikleri şeklinde tutulmasına yönelik teknolojiler yer almaktadır. Aynı zamanda, mevcut karbonun karasal ekosistemler, denizler ve yer altı jeolojik yapılar gibi çeşitli yutaklarda depolanması üzerine de yoğun araştırmalar yürütülmektedir. Bu tür uygulamalar, genel olarak “karbon yakalama ve depolama” (carbon sequestration) stratejileri başlığı altında toplanmaktadır (Başaran, 2004).

Bitkiler ile atmosfer arasındaki karbondioksit alışverişi, temel olarak fotosentez ve solunum süreçleri aracılığıyla gerçekleşir. Fotosentez sırasında bitkiler atmosferden CO₂ alırken, bu

karbonun bir kısmı bitki bünyesinde kalıcı şekilde birikir. Solunum ise bu karbonun tekrar atmosfere salınmasına neden olur. Eğer fotosentez ile alınan karbon, solunumla salımandan daha fazla olursa, ilgili bitki veya ekosistem karbon yutağı olarak işlev görür. Bu nedenle, bu süreçlerin etkili bir şekilde izlenmesi önemlidir. Ancak ülkemizde bu tür biyofiziksel ölçümleri yapacak altyapı henüz yeterli seviyede değildir. Özellikle orman alanlarında gerekli izleme sistemleri eksik kalmakta, tarım alanlarında da bu tür ölçümler sınırlı düzeyde uygulanmaktadır (Şaylan, 2007; Şaylan ve Çaldağ, 2007).

Karbonun uzun vadeli olarak depolandığı başlıca alanlar; derin deniz suları ve yer altındaki jeolojik rezervuarlardır. Küresel karbon döngüsünde yer alan bu havuzlar arasında karbon akışı, çeşitli biyojeokimyasal mekanizmalarla düzenlenmektedir. Örneğin, okyanusların yaklaşık 38.000 petagram (Pg) karbon içerdiği ve bu miktarın en büyük karbon havuzunu oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bunu, fosil yakıtları barındıran yer altı rezervuarları takip etmektedir; bu kaynakların yaklaşık 4130 Pg karbon içerdiği bildirilmektedir. Üçüncü büyük havuz, toprak kökenli (pedolojik) havuzlardır ve sadece 1 metrelik üst toprak katmanında 2500 Pg civarında karbon bulunduğu öngörülmektedir. Atmosferde ise yaklaşık 760 Pg, biyotik (canlı organizmalar) sistemlerde ise 560 Pg karbon bulunmaktadır. Pedolojik ve biyotik havuzlar birlikte yaklaşık 2860 Pg karbon depolayarak "karasal karbon havuzu" olarak tanımlanmaktadır. Bu karasal havuz ile atmosfer arasında sürekli bir karbon alışverişi vardır; özellikle bitkiler atmosferden CO₂ alarak karbon dengesinin korunmasına katkıda bulunurlar. İlginç bir şekilde, karasal bitkiler deniz ve okyanuslardan yaklaşık iki kat daha fazla CO₂ tutma kapasitesine sahiptir. Bunun nedeni, karasal bitkilerin karbonu kimyasal bağlarla depolaması, su ortamlarının ise çözünme yoluyla karbonu tutmasıdır. Özellikle ağaçlar gibi büyük yapılı kara bitkileri, sucul bitkilere göre 250 kat daha fazla karbon depolayabilmektedir. İnsan faaliyetlerinin toplam küresel CO₂ salınımına katkısı sadece %3 civarındadır; ancak bu oran bile doğadaki dengeyi bozmak için yeterlidir. Karbon döngüsü, karbon moleküllerinin toprak, su ve atmosfer arasında sürekli olarak taşınmasını ifade eder. Bu döngü sayesinde karbon, biyosferde yeniden kullanılır ve yutaklar arasında dağıtılarak doğal denge korunur (Cevizci, 2019; Büyüktürkmen, 2021; NOAA, 2022).

Dünya genelinde ve Türkiye'de, bitkisel biyokütlede depolanan karbon miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar hâlen sınırlı düzeydedir. Gelişmiş ülkelerde bu alanda uzun soluklu araştırmalar yapılırken, gelişmekte olan ülkelerde çalışmalar çoğunlukla kısa vadeli projelerle sınırlı kalmaktadır. Bu yetersizliğin başlıca nedeni, mikrometeorolojik ölçüm tekniklerinin yaygınlaşmamış olmasıdır. Oysa bu teknikler, atmosfer ile bitkiler arasındaki karbon, su buharı ve enerji alışverişini izlemek ve bu değişimlerin nedenlerini analiz edebilmek açısından oldukça değerlidir. Örneğin, ABD'de yapılan araştırmalarda, orman ekosistemlerinde karbonun %74'ünün

toprak üstü biyokütlede, %26'sının ise toprak altında biriktiği belirlenmiştir. Toprak üstü karbonun %35'i kalıcı olarak sistemde tutulurken, %32,5'i ayrışma yoluyla atmosfere geri döner ve geri kalan %32,5'lik bölüm ise odun temelli orman ürünlerinde depolanır. Ancak bu orman ürünlerinde tutulan karbonun her yıl %2 oranında kayba uğradığı bildirilmektedir (Wayburn et al., 2000).

2.3. Orman Topraklarında Karbon Birikimi

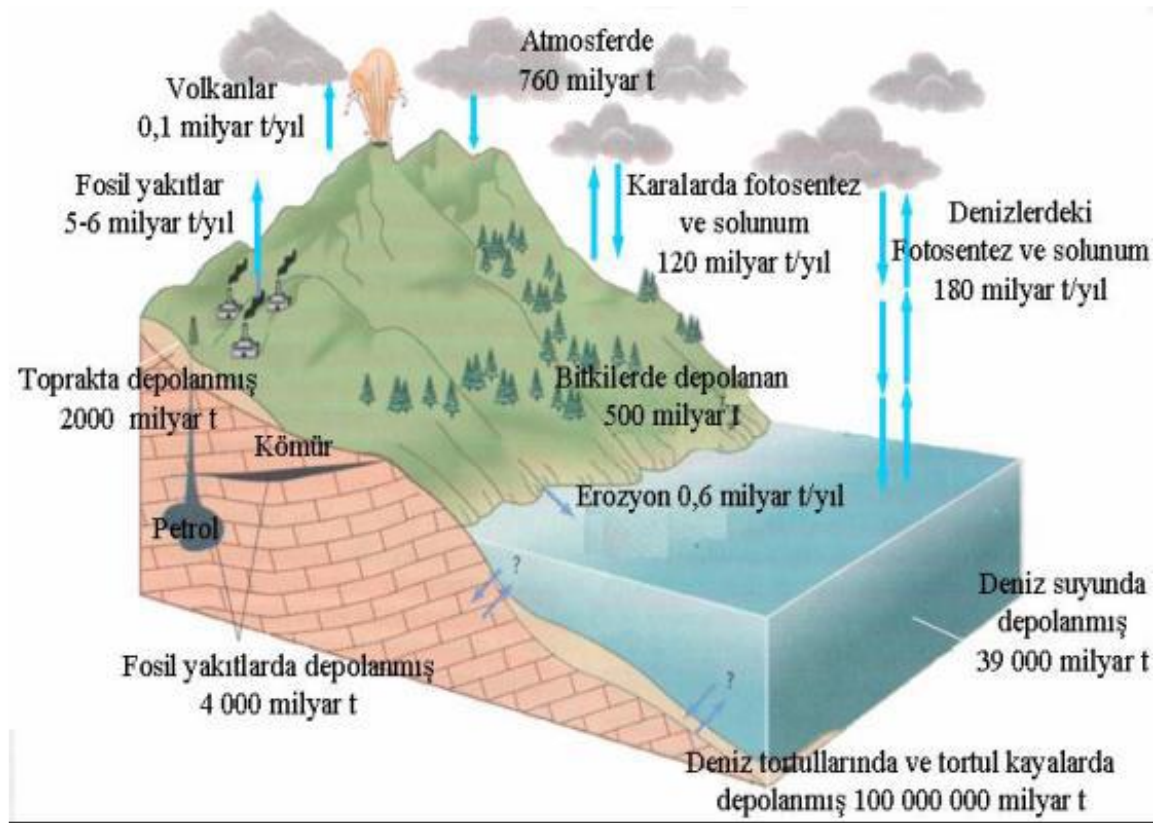
Orman ekosistemleri, hem ekonomik değeri olan mamul ve yarı mamulleri üretmekte hem de pazarı olmayan ekosistem hizmetlerini sağlamaktadır (Pehlivan, 2022). Bu hizmetler arasında karbon döngüsü üzerindeki etkileri özellikle önemlidir. Orman ekosisteminde en yaygın canlı türü olan ağaçlar, fotosentez yoluyla atmosferde gaz formunda bulunan karbonu (CO_2) alarak karbondhidratlara dönüştürür. Bu süreç, karbonun atmosferden çekilmesi ve biyokütlede depolanması yoluyla karbon döngüsünde kritik bir rol oynar. Karbon, canlı organizmaların temel yapı taşlarından biridir ve organizmaların biyokütlesinin yaklaşık %50'sini oluşturur. Ancak, canlı organizmaların ölümü ile birlikte organik atıkların ayrışması, bu biyo-karbonun serbest kalmasına ve karbon değerlerinin düşmesine yol açar. Bu nedenle, orman ekosistemlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi, karbon depolama kapasitelerinin sürdürülmesi ve artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. (Yıldırım, 2019).

Fotosentez yoluyla bitkilerin bünyesine katılan karbon, bitkilerin ölmesiyle birlikte toprak yüzeyine döner ve burada depolanır. Bu süreçte, bitki atıklarının bir kısmı mikro ve makro organizmalar tarafından tüketilerek bu organizmaların vücut yapılarının bir parçası haline gelir. Daha sonra, bu karbonun bir kısmı solunum yoluyla atmosfere salınır. Ormanlık alanlarda biriken biyokütle, çeşitli yollarla ekosistemin dışına çıkar. Özellikle ağaç kesimi sırasında toprak yüzeyinde kalan bitki kalıntıları zamanla toprağın bir parçası haline gelir. Bu atıkların bir bölümü, canlılar tarafından ayrıştırılarak CO_2 formunda atmosfere geri döner veya humus adı verilen, ayrışması zor bileşiklere dönüşerek toprakta uzun süre depolanır (Kantarıcı, 2000).

Orman ekosistemlerinde toprakta biriken karbonun bir kısmı, bakteriler ve mantarlar tarafından biyolojik ayrışma yoluyla parçalanmaya devam eder. Bu süreçte organik bağlar çözülür ve karbon, toprak solunumu olarak bilinen bir mekanizma ile CO_2 formunda atmosfere salınır. Ancak topraktaki karbon kaybı yalnızca solunumla sınırlı değildir. Aynı zamanda, çözünmüş organik karbon şeklinde yıkanarak çeşitli yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına taşınabilir. Her ne kadar orman ekosistemlerinde yaygın olmasa da toprakta depolanan karbonun bir kısmı erozyon yoluyla da uzaklaştırılabilir (Yıldırım, 2019).

2.4. Küresel Karbon Döngüsü ve Karbon Depolaması

Element veya bileşik formundaki karbonun atmosfer, canlılar, karalar ve sular arasında gerçekleşen hareketine karbon döngüsü denir. Atmosferde karbondioksit (CO_2) formunda bulunan karbon, fotosentez yoluyla bitkilerin bünyesine katılır. Bitkiler tarafından bünyelerine alınan bu karbon, bitkilerle beslenen hayvanlar aracılığıyla onların vücutlarına geçer. Hayvanların bünyesine katılan karbonun bir kısmı solunum yoluyla CO_2 formunda atmosfere geri döner. Diğer kısmı ise, hayvanların ölümünün ardından biyokütlenin çürümesiyle salınır ve atmosfere karışır ya da ayrışması zor bileşiklere dönüşerek toprağa depolanır. Bu süreç, karbonun ekosistemdeki sürekli hareketini ve dönüşümünü sağlar (Yıldırım, 2019).



Şekil 2.1. Küresel karbon döngüsü (Botkin and Keller 1998; Janzen 2004)

Yukarıdaki görsel, karbonun atmosfer, kara ekosistemleri, okyanuslar, fosil yakıtlar ve topraklar arasında nasıl hareket ettiğini ve farklı depolama alanlarını göstermektedir. Buna göre atmosferde 760 milyar ton karbon bulunmaktadır. Bu karbon, fotosentez, solunum ve volkanik aktiviteler gibi süreçlerle atmosfere salınır. Karasal bitkilerde 500 milyar ton karbon depolanmış olup, fotosentez ve solunum işlemleriyle 120 milyar ton karbon yılda

atmosferden alınıp verilir. Okyanuslarda 39.000 milyar ton karbon depolanmış, denizlerdeki fotosentez ve solunum da yıllık 180 milyar ton karbon değişimini gösterir. Fosil yakıtlar (kömür, petrol ve gaz) 4.000 milyar ton karbon depolar, kömür de 2.000 milyar ton karbon depolar. Fosil yakıtların yanması, atmosfere karbon salınımını artırır. Karasal topraklardan okyanuslara 0,6 milyar ton karbon yıllık olarak taşınır. Volkanlar, yılda yaklaşık 0,1 milyar ton karbon salınımına neden olur (Şekil 2.1).

Karbon döngüsü içinde, bitkilerin fotosentez yoluyla her yıl yaklaşık 60 milyar ton karbon depoladığı tahmin edilmektedir. Ancak, bitki ve hayvanların solunum faaliyetleri, fosil yakıtların yanması ve toprakta depolanan karbonun ayrışması nedeniyle bu miktarın, hatta daha fazlasının atmosfere salındığı düşünülmektedir. Bunun yanında, yapılan araştırmalar, okyanuslarda bulunan canlıların fotosentez ve solunum süreçlerinde yıllık yaklaşık 180 milyar ton karbon kullandığını göstermektedir (Janzen, 2004).

İnsan etkisinin olmadığı doğal ekosistemlerde, bitkilerin fotosentez yoluyla bağladığı karbon miktarının, solunum yoluyla salınan karbondan genellikle daha fazla olması beklenir. Bu durum, karasal ekosistemlerde toplam karbon birikimine katkıda bulunmaktadır. Yeryüzündeki karasal ekosistemlerde, bitkilerde depolanan toplam karbon miktarının yaklaşık 500 milyar ton olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, topraklar da karbon depolanması için önemli bir ortam sağlamaktadır. 1 metre derinliğindeki topraklarda depolanan karbon miktarının yaklaşık 2000 milyar ton olduğu rapor edilmiştir. Karbon depolama açısından en büyük rezerv, okyanuslardır. Okyanuslarda depolanan toplam karbon miktarının yaklaşık 39.000 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu durum, okyanusları, karbon döngüsünde önemli bir karbon yutağı haline getirmektedir (Janzen, 2004).

Sanayi Devrimi, hızlı nüfus artışı ve kentleşme gibi faktörler, tüm dünya ülkelerini ciddi bir tehdit altında bırakmıştır. Karbon salınımının gezegen üzerindeki etkilerinin geri döndürülemez boyutlara ulaştığının anlaşılması, ülkelerin ortak hareket etmesi gerektiği sonucunu doğurmuştur. Farklı bölgelerde ve çeşitli ölçekte gerçekleşen karbon emisyonlarını daha iyi anlamak ve bu durumun neden olduğu sorunlara çözüm bulmak amacıyla zamanla birçok anlaşma, sözleşme ve protokol hayata geçirilmiştir. Bu

sözleşmeler yasal olarak bağlayıcı olan ve olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır (Eşbah, 2023).

2.5. Türkiye Orman Topraklarındaki Karbon Miktarları

Toprakta depolanan organik karbon miktarını etkileyen faktörlerin analiz edildiği bir çalışmada, 1159 farklı noktadan alınan örnekler değerlendirilmiş ve Türkiye orman topraklarında ortalama karbon depolama kapasitesinin 77,8 t/ha olduğu belirlenmiştir. Ülkemizde özellikle geniş yapraklı ormanlara dair veri eksikliği dikkat çekmektedir. Türkiye'nin toplam 21,2 milyon hektarlık orman varlığı göz önüne alındığında ve hektar başına ortalama 77,8 ton karbon depolandığı kabul edildiğinde, orman topraklarının yaklaşık 1,65 milyar ton karbonu bünyesinde barındırdığı tahmin edilmektedir (Yıldırım, 2019).

Bir bölgedeki yıllık karbon depolama miktarını belirlemenin en geçerli yollarından biri, aynı alandan farklı yıllarda elde edilen toprak organik karbon verilerini karşılaştırmaktır (Lal, 2005). Tolunay (2009), Bolu Aladağ'daki Sarıçam ormanlarında 1991-2001 yılları arasında ortalama olarak yılda 0,65 t/ha karbon biriktiğini bildirmiştir. Küresel ölçekte yapılan çalışmalara göre ise orman topraklarının yılda ortalama 0,4 t/ha karbon depoladığı ifade edilmektedir (Lal, 2005). Bu veriler doğrultusunda, Türkiye orman topraklarında her yıl yaklaşık 8,48 milyon ton karbonun depolandığı söylenebilir. Ayrıca, 2004 yılında yapılan bir araştırmada, ülke genelindeki orman bitki örtüsünde toplamda 14,48 milyon ton karbonun depolandığı belirtilmiştir. Bu karşılaştırma, toprakların karbon yutak potansiyelinin ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermektedir. Ancak, bu potansiyelin yüksek olmasına karşın, arazi kullanımında meydana gelebilecek değişikliklerin toprakta birikmiş karbonun yeniden atmosfere salınmasına neden olabileceği unutulmamalıdır (Yıldırım, 2019).

Paris İklim Anlaşması çerçevesinde, küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılması hedefi doğrultusunda Türkiye, 2018-2053 yılları arasını kapsayan çeşitli karbon emisyon senaryoları geliştirmiştir. Bu senaryolar; ulaşım, enerji, sanayi, binalar ve diğer üretim sektörlerini kapsamaktadır. 2018 yılından itibaren azalma eğilimi gösteren emisyonların, 2020'de de düşüşünü sürdürdüğü gözlemlenmiştir. Öngörülere göre, 2030 yılında karbon

salımlarının 2018 yılına kıyasla %37 oranında azalması, 2050 yılına gelindiğinde ise %79'luk bir düşüşle 131,6 milyon ton seviyesine gerilemesi beklenmektedir. Bu tahminler, 1990 yılına kıyasla %130 oranında artışla zirve yapılan 2018 sonrası dönemde, emisyonların 2050 yılı itibarıyla 1990 seviyesinin %13 altına inebileceğini göstermektedir (Şahin vd., 2021).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu Tezde, Çapakçur Mikro Havzası'ndaki rehabilitasyon çalışmalarının ekolojik, iklimsel ve karbon yutak potansiyellerine etkileri belirli bir zaman diliminde incelenmektedir. Araştırma, Murat Nehri Havzası'nın bir alt havzası olan Çapakçur Mikro Havzası ile sınırlıdır. Bu bölgedeki rehabilitasyon projeleri kapsamlı bir şekilde ele alınacak, diğer havza alanlarına veya daha geniş alanlara yayılmadan yalnızca bu spesifik alan üzerinde yoğunlaşılacaktır.



Şekil 3.1. İzleme ve değerlendirme sistemi (Yılmaz, 2022)

İzleme, bir projenin uygulama süresi boyunca sürekli ve sistemli olarak veri toplama sürecidir. Toplanan bilgi projenin takibi için kullanılacak ve proje faaliyetlerinin yönetiminde gerektiğinde düzeltmeler yapılabilecektir. İyi bir izleme ve değerlendirme yapmak için proje başından itibaren doğruluğu yüksek tam bir veri tabanı olmalıdır. Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi entegre bir proje olduğu gibi izleme ve değerlendirme sistemi de entegre bir ayak üzere planlanmıştır. Proje başladığı andan itibaren sosyo-ekonomik izleme, erozyonun izlenmesi, çalışma yapılan alanlardaki bitki

değişim trendinin izlenmesi çalışmaları ÇEM tarafından yapılmaktadır. Fiziksel izleme ise uygulayıcı kurum Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından takip edilmektedir. Bu çalışma ile proje sonuna yaklaşılmasından dolayı proje faaliyetlerinin karbon salınımına etkisinin hesaplanması hedeflenmiştir (Yılmaz, 2022).

Çalışmaların yapıldığı dönemde (2012-2021) karbon yutak kapasiteleri ve iklim değişikliği üzerindeki yerel etkiler gözlemlenmiştir. Ayrıca, bölgedeki mevcut karbon yutak kapasiteleri ile yapılan iyileştirme çalışmalarının bu kapasite üzerindeki etkisi temel araştırma konusu yapılmıştır.

Çalışmada cevabı aranan sorular şu şekildedir:

1. Rehabilitasyon çalışmaları Çapakçur Mikro Havzası'nda karbon yutak kapasitesini nasıl etkilemektedir?

1.1. Ağaçlandırma faaliyetleri, erozyon kontrolü ve bitki örtüsünün iyileştirilmesi, karbon depolama kapasitesini ne ölçüde artırmaktadır?

1.2. Farklı arazi kullanım türlerinin (tarım arazileri, ormanlık alanlar, su kaynakları) karbon yutak kapasiteleri üzerindeki etkileri nelerdir?

1.3. Toprakta organik karbon miktarı rehabilitasyon öncesi ve sonrasında nasıl değişiklik göstermektedir?

1.4. Bu çalışmaların toprağın karbon tutma potansiyeline etkisi hangi yöntemlerle ölçülmektedir (toprak örnekleme, biyokütle analizleri gibi)?

2. Çapakçur'daki rehabilitasyon projelerinin iklim değişikliği üzerindeki yerel etkileri nelerdir?

İklim değişikliği küresel bir sorun olsa da yerel ölçekli çalışmaların bu sorunun çözümüne katkı sağlama potansiyeli yüksektir. Bu sorunun amacı, rehabilitasyon projelerinin yerel iklim üzerinde ne gibi değişikliklere yol açtığını anlamaktır. Çapakçur'da yapılan

rehabilitasyon faaliyetlerinin yerel sıcaklıklar, yağış düzenleri ve nem oranı gibi iklimsel faktörleri nasıl etkilediği bu sorunun merkezinde yer alır.

2.1. Çapakçur Havzası'nda yapılan ekolojik restorasyon çalışmaları (örneğin, su kaynaklarının korunması ve bitki örtüsü iyileştirmeleri), yerel mikro iklimi nasıl etkilemektedir?

2.2. Rehabilitasyon projelerinin bölgesel yağış düzeni, sıcaklık ve nem oranı gibi iklimsel değişkenler üzerindeki etkileri nelerdir?

2.3. Erozyon kontrolü ve su yönetimi çalışmaları yerel iklimin dengelemesinde nasıl bir rol oynamaktadır?

2.4. Bitki örtüsündeki artış ve toprak iyileştirmelerinin, yerel karbon döngüsü ve sera gazı emisyonları üzerindeki etkileri nelerdir?

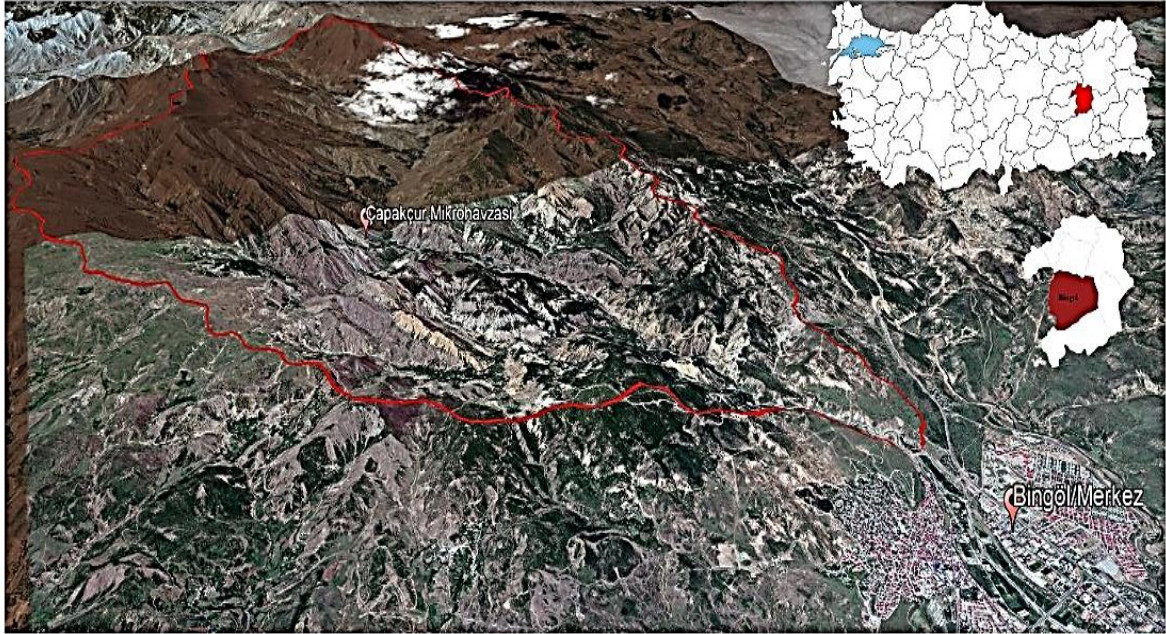
Bu soruların amacı, rehabilitasyon projelerinin yerel ekosistem ve iklim üzerindeki etkilerini anlamaktır. Mikro iklimsel değişiklikler, iklim değişikliğiyle mücadelede lokal düzeyde nasıl etkili olunabileceğini anlamaya yardımcı olacaktır. Ayrıca, bu sorular sayesinde havza rehabilitasyonunun sürdürülebilir çevresel katkıları ortaya konacaktır.

Karbon ayak izinin izlenmesi çalışmaları kapsamında, proje sonuna yaklaşılmışından dolayı bu çalışmayla Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından İzleme ve Değerlendirme faaliyetleri kapsamında proje faaliyetlerinin karbon salınımına etkisi hesaplanmaktadır. Karbon hesaplamasında FAO Ex-act modeli kullanılmaktadır (Yılmaz, 2022).

3.1.1. Araştırma Alanı

Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi Elâzığ Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarında Elâzığ, Bingöl ve Muş illerini kapsamakta olup 2013 yılından bu yana uygulanmaktadır. Proje uygulama alanı 3 İl 36 Mikrohavza (MH) ve 292 köyden oluşmaktadır. Bu çalışmada Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) uzmanlarınca hazırlanan Ex-act karbon dengeleme aracı kullanılmıştır. Ex-act karbon dengeleme aracının hesaplama yapabilmesi

için proje faaliyetlerinin fayda-maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda 2020 yılında Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan MNHRP Fayda-Maliyet analizi verilerinden faydalanılmıştır (Yılmaz, 2022).



Şekil 3.2. Çapakçur Mikro Havzasının bölgedeki konumu (Yüksel vd., 2020)

Araştırma, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Murat Nehri Havzası'nın bir parçası olan Çapakçur Mikro Havzası'nda gerçekleştirilecektir. Çapakçur Mikro Havzası, zengin doğal kaynakları ve biyolojik çeşitliliği ile dikkat çeken bir ekosistemdir. Ancak, insan faaliyetleri ve iklim değişikliği nedeniyle önemli çevresel sorunlar yaşamaktadır. Bu nedenle, bölgedeki rehabilitasyon çalışmaları incelenecektir.

Bu çalışmanın temel materyalini, Bingöl İli Merkez ilçesi sınırları içerisinde bulunan Çapakçur Mikro Havzası'nın doğal ve kültürel peyzaj bileşenlerine ait kaynak değerleri oluşturmaktadır. Söz konusu havza, Merkez İlçe'nin batı kısmında konumlanmakta olup Yelesen, Şaban, Ortaköy, Eskiköy, Çiriş, Alıncık, Balpınar ve Üçyaka köylerini içine alan bir bölgeyi kapsamaktadır. Toplam yüzölçümü 10.675,70 hektardır. Adını aldığı Çapakçur Deresi, mikro havzanın yüksek kesimlerinden doğarak Murat Nehri'ne karışmaktadır. Alanda yıllık ortalama yağış miktarı 831,5 mm olarak ölçülmüş; ortalama karlı gün sayısı 117, karla kaplı gün sayısı ise 76 olarak belirlenmiştir (Anonim, 2016).

Aşağıdaki tablo, Çapakçur Mikro Havzası (Mera ve Orman Alanı) bölmelerine göre yapılan faaliyetlerin miktarlarını göstermektedir. Ağaçlandırma, rehabilitasyon ve toprak muhafaza faaliyetlerine dair değerler, her bir bölmeye göre verilmiştir.

Tablo 3.1. Çapakçur MH Bölmelere Göre Faaliyet Yapılan Araziler (ha) (Bingöl Orman İşletme İl Müdürlüğü)

Bölme No	Badem Ağaçlandırması	Bal Ormanı	Bozuk Meşe Rehabilitasyonu	Bozuk Orman Ağaçlandırması	Göl	Göl Eko Peyzajı	Mera Rehabilitasyonu	Toprak_Muh. Ve Erozyon_Kont	Toprak_Muhafaza ve Erozyon Kontrol	Genel Toplam
1006				20,65						20,65
1007				3,45						3,45
1013				7,90						7,90
1014				17,92						17,92
1015				19,30						19,30
1019				0,19						0,19
1021			0,29							0,29
1022			34,05							34,05
1023			0,36							0,36
1026			5,27							5,27
1054							10,59	99,46		110,04
1055		6,55					7,11	87,59	85,89	187,14
1056								37,63	14,12	51,75
1057			15,94					4,99	21,24	42,17
1058			3,51							3,51
1059			30,98							30,98
1060			25,99					0,78	16,43	43,20
1061			3,79					35,67		39,46
1062			48,51					17,82	20,07	86,40
1063			33,23					14,87	12,42	60,52
1064			0,74					0,26		1,00
1065			53,59							53,59
1066			0,19							0,19
1067							6,73			6,73
1069							0,01			0,01
1070							0,01			0,01
1091									14,44	14,44
1112					2,29	14,07	3,48			19,85
1113	3,51							0,18	48,46	52,15

Tablo 3.1'in devamı

1117		5,78			0,48	2,52	13,98			22,76
1130		5,87								5,87
1131		2,39					21,93			24,32
1132							0,05			0,05
1135									13,56	13,56
1138									26,60	26,60
Genel Toplam	3,51	20,59	256,44	69,42	2,77	16,60	63,88	299,25	273,23	1.005,69

Yukarıdaki tabloya göre her bir bölme, farklı faaliyetler için belirli miktarlarda arazi kullanımını göstermektedir. Örneğin, 1006 numaralı bölmede 20,65 hektar alanda bozuk meşe rehabilitasyonu yapılırken, 1054 numaralı bölmede 10,59 hektar alanda göl eko peyzajı ve 99,46 hektar alanda mera rehabilitasyonu gerçekleştirilmiştir. Bozuk Meşe Rehabilitasyonu en fazla alanda yapılan faaliyet olup, toplamda 256,44 hektar olarak öne çıkmaktadır. "Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü" ve "Mera Rehabilitasyonu" da önemli alanlar kaplamaktadır. Özellikle 1055 numaralı bölmede çok büyük miktarlara ulaşmıştır (187,14 hektar). "Badem Ağaçlandırması" ve "Bal Ormanı" gibi faaliyetler ise daha sınırlı alanlarda yapılmış, örneğin 1131 numaralı bölmede 2,39 hektar badem ağaçlandırması gerçekleştirilmiştir. Toplamda 1.005,69 hektar alanda farklı faaliyetler yapılmıştır. Bu faaliyetler arasında en yüksek oran, 256,44 hektarla bozuk meşe rehabilitasyonuna aittir. Diğer faaliyetler, göl ve eko peyzaj, toprak muhafaza ve erozyon kontrolü gibi çevresel koruma ve iyileştirme çalışmalarını içermektedir. Örneğin, 1060 numaralı bölgede 43,20 hektar alanda toprak muhafaza çalışması yapılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu araştırma, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi'nin Çapakçur Mikro Havzası'ndaki çalışmaları aracılığıyla iklim değişikliğiyle mücadelede karbon yutakları açısından ne gibi katkılar sağlandığını ve bu katkılarının iklim değişikliği üzerindeki yerel etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda yapılacak çalışmalarda aşağıdaki metotlar takip edilecektir:

Karbon Yutak Kapasitelerinin Değerlendirilmesi:

- Çapakçur'daki rehabilitasyon çalışmalarının, bölgedeki toprak ve bitki örtüsünün karbon tutma potansiyelini nasıl artırdığını analiz etmek.

- Özellikle ağaçlandırma, bitki örtüsü iyileştirmeleri ve erozyon kontrolü gibi faaliyetlerin toprak karbon içeriği ve biyokütle karbon depolama kapasitesine etkilerini incelemek.

- Uluslararası karbon izleme standartları (IPCC yönergeleri gibi) ve yerel saha verilerini kullanarak, karbon yutak kapasitelerinde meydana gelen değişimleri sayısal olarak değerlendirmek.

Yerel İklim Üzerindeki Etkilerin Analizi:

- Rehabilitasyon çalışmalarının, havzanın mikro iklim koşulları (sıcaklık, yağış düzenleri, nem oranları gibi) üzerindeki etkilerini incelemek. Bitki örtüsündeki artışın bölgedeki hava sıcaklıkları ve nem dengesi üzerindeki olumlu etkileri analiz edilecektir.

- Çapakçur'da gerçekleştirilen su yönetimi ve toprak düzenleme projelerinin, bölgesel yağış döngüleri ve buharlaşma oranlarına etkisi.

Araştırmada kullanılacak veriler, iki ana kaynaktan elde edilecektir:

- Saha Çalışmaları: Çapakçur Mikro Havzası'nda yapılan rehabilitasyon projeleri çerçevesinde, ağaçlandırma, toprak iyileştirme ve su yönetimi uygulamalarının yerinde gözlemleri gerçekleştirilecektir. Bu süreçte, bitki türleri, ağaçlandırma oranları, toprak kalitesi ve su kaynaklarının durumu gibi veriler toplanacaktır.

- İkincil Veriler: Çalışmalar sırasında iklim değişikliği ve karbon yutakları ile ilgili literatür taraması yapılacak; bölgedeki hava durumu, sıcaklık, yağış miktarı gibi iklim verileri, Türkiye İklim Veri Merkezi ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü gibi güvenilir kaynaklardan temin edilecektir. Ayrıca, bölgedeki karbon yutak kapasitesini belirlemek için mevcut veriler ve ilgili çalışmalardan faydalanılacaktır.

Ex-Ante Karbon Dengeleme Aracı, FAO tarafından tarım, ormancılık ve balıkçılığı geliştirmeye yönelik proje, program ve politikaların karbon dengesi üzerindeki etkilerini tahmini olarak hesaplamak üzere oluşturulmuş bir değerlendirme sistemidir. EX-Ante Karbon Dengesi Aracı (EX-ACT) paketi, AFOLU sektöründe erişilebilir, eksiksiz ve zamana duyarlı muhasebe araçları ihtiyacına cevap verir. Bir dizi bağlantılı Microsoft Excel veri tabanı sayfası. Sekiz mantıksal konu modülünde (ormancılık, tarım, hayvancılık, kıyı sulak alanlar, balıkçılık vb.) yapılandırılmıştır. EX-Ante Karbon Dengesi Aracı (EX-ACT), sera gazı (GHG) emisyon envanterleri için Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) metodolojisine dayanmaktadır. EX-ACT, kullanıcılarına Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı (AFOLU) yatırımlarının ve politikalarının sera gazı emisyon seviyeleri üzerindeki etkisini tahmin etmek ve izlemek için tutarlı bir yol sağlar. EX-ACT, ormancılık, tarımsal girdiler, enerji, altyapı, mineral ve organik toprakların yönetimi, kıyı sulak alanları, balıkçılık ve su ürünleri dahil olmak üzere tüm AFOLU sektörünü kapsayan tek muhasebe aracıdır (Yılmaz, 2022).

3.2.1. Arazi Çalışmaları

Ex-act karbon hesaplama aracı iki bölüm üzerine tasarlanmıştır. Birinci bölümde proje faaliyetlerinin uygulanması sonucu ortaya çıkan gerçekleştirmelerinin sisteme işlenmesi ve tarımsal faaliyetler ile enerji tasarruflu faaliyetler için 2020 yılında yapılan fayda-maliyet analizi verilerinin kullanılmasıyla sonuç elde edilmektedir. Fakat ikinci bölümde beş karbon havuzuyla alakalı o yöreye ait özel tasarlanmış karbon ve stok değişimlerini ifade eden özel değerler sisteme işlendiğinde daha doğru ve güvenilirliği yüksek sonuç ortaya çıkarmak mümkün olmaktadır. Bunlar; orman alanları için toprak altı ve üstü için biyokütle değerleri, toprak organik karbonu, farklı arazi kullanımları için karbon tutum oranları, gübre kullanımı, sulama, yangından kaynaklı N_2O/CH_4 ve CO_2 dışındaki emisyonlar, hayvancılık sistemleri, tarım alanlarında ki önemli değişiklikler, proje kapsamında yapılan sanat yapıları-yol-bina ile altyapı inşaatına ilişkin özel emisyon değerleri girildiğinde sistem daha kapsamlı bir hesaplama yapma imkanı sunmaktadır. Fakat ikinci bölümde veri toplama işlemi zor ve pahalı olduğu için hepsini tedarik etmek zor olmaktadır. Ama çok güçlü sera gazı kaynağı ve yutağı olması beklenen projeler için ikinci bölüm verilerinin sisteme işlenmesi hayati önem arz etmektedir. Bu yapılan çalışmada birinci bölüm verileri

kullanılmıştır. Bu çalışmada birinci bölüme dayalı bir karbon dengesi hesabı yapılması için yeterli olmaktadır (Yılmaz, 2022).

Havzadaki meşe ağaçlarından yeterli miktarda ağaç örneği almak için izlenecek adımlar şu şekildedir (Yıldırım, 2019):

1. Meşcere Seçimi: İlk olarak, örnek ağacın seçileceği meşcere belirlenir. Bu meşcerede, amaca uygun ve yeterli büyüklükte bir alan seçilir.
2. Ağaçlarda Göğüs Çapı Ölçümü: Seçilen örnek alandaki tüm ağaçların göğüs çapı (DBH - diameter at breast height) ölçülür. Bu ölçümler, ortalama bir göğüs çapı elde edilmesine olanak sağlar.
3. Ortalama Göğüs Çapı ve Biyokütle İlişkisi: Bu ölçümlerden elde edilen ortalama göğüs çapına dayanarak, aynı çapa sahip ağaçlar, ortalama biyokütle miktarına da sahip kabul edilir. Bu varsayımdan yola çıkarak, bu çapta bir ağacın biyokütle miktarı tahmin edilebilir.
4. Ağaç Seçimi: Ortalama göğüs çapına sahip en yakın ağacın tespiti yapılır. Bu ağaç işaretlenerek, örnek ağaç olarak seçilir.
5. Ağaç Özellikleri: Seçilen örnek ağaçlar canlı, sağlam tepeye sahip, tek gövdeli ve sağlıklı bireyler olmalıdır. Bu özellikler, ağacın biyokütle hesaplamaları için güvenilir veri sağlamasını sağlar.
6. Ağaç Kesimi ve Dip Kütüğü: Seçilen örnek ağaç, toprak seviyesinden çift yönlü olarak kesilir. Bu kesim sırasında, toprak seviyesinin üzerinde hiçbir dip kütüğü kalmamalıdır. Bu, doğru biyokütle hesaplaması için gereklidir.
7. Biyokütle Hesaplama: Ağaç kesildikten sonra, ağaç kısımları (gövde, dallar, yapraklar vb.) ayrılarak biyokütle hesaplamaları yapılır. Bu, biyokütle dönüştürme faktörlerine dayalı olarak ağaçtan elde edilen karbon miktarını belirlemeye yardımcı olur.

Ex-act karbon hesaplama aracını kullanabilmek için projede uygulanan faaliyetlerin özellikle proje öncesi ve sonrası tarımsal üretimdeki değişim, odun tüketimindeki değişim,

hayvan varlığındaki değişim, yapılaşma miktarları, sulanan alan miktarlarındaki değişim, mera alanlarındaki ot kapasitesinin ve hayvan varlığındaki değişim gibi birçok faktörün belirlenmesi gerekmektedir. Bu sonuçla ÇEM tarafından 2020 yılında hazırlanan fayda-maliyet analizi Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesinin hem pozitif yanlarını ortaya koymak hem de karbon salınımının hesaplanmasında hayati önem arz etmektedir. Bu sonuçla 2020 yılında projede uygulanan 13 faaliyette özellikle gelir getirici ve enerji tasarruflu faaliyetler ile alakalı fayda maliyet analizi yapılmıştır. Bunlar (Yılmaz, 2022):

- 1-Enerji tasarruflu soba
- 2- Enerji tasarruflu güneş enerjili su ısıtma sistemleri
- 3- Enerji tasarruflu hane izolasyonu
- 4- Enerji tasarruflu köy ekmek fırınları
- 5- Tarla içi damla sulama
- 6-Kapama meyve bahçesi kurulumu
- 7-Hayvan barınaklarının iyileştirilmesi
- 8-Bağ terbiye sistemi kurulumu
- 9-Yem bitkisi faaliyetlerinin iyileştirilmesi
- 10-Buğday-arpa faaliyetlerinin iyileştirilmesi
- 11-Sera kurulumu
- 12-Arıcılık Faaliyetlerinin İyileştirilmesi
- 13-Çilek bahçesi kurulumu

3.2.1.1. Gövde üzerinde yapılan işlemler

Kesilen ağacın biyokütle ve karbon içeriği belirleme süreci şu şekilde ilerler (Yıldırım, 2019):

1. Ağaç Boyu Ölçümü: İlk olarak, kesilen ağacın tam boyu hassas bir şekilde, genellikle santimetre (cm) hassasiyetinde ölçülür. Bu ölçüm, ağaç biyokütlesinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için temel bir veri sağlar.
2. Dalların Kesilmesi: Dallar, gövdeye bitiştikleri noktadan, herhangi bir budak bırakmadan ve gövdeye zarar vermeden kesilir. Bu, ağacın biyokütlesinin doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlar, çünkü dallar ve gövde arasındaki sınır kesin olmalıdır.
3. Gövde Bölme ve Ölçümler: Gövde, 2.05 m uzunluğunda bölümlere ayrılır. Her bölümün çapı, hacim hesaplamaları için kullanılan hacim formülünün gerektirdiği şekilde çift yönlü olarak ölçülür. Bu ölçümler, ağaç biyokütlesinin daha doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak tanır. Ayrıca, bu çap ölçümleri, biyokütle dönüşüm faktörlerinin (BEF - Biomass Expansion Factor) belirlenmesine yardımcı olur. BEF, dikili gövde hacmi ile biyokütle ve karbon içeriği arasında dönüşüm yapmayı sağlar.
4. Ağırlık Ölçümü: Her bölümün yaş ağırlığı tartılır. Bu, biyokütle miktarını belirlemek için önemlidir. Kalın çaplı ağaçlar için, dipten itibaren bazı bölümler o kadar ağır olabilir ki, bu bölümlerin tartılması insan gücüyle mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda, makine gücüne başvurulması gerekebilir. Bu zorluklar, ağaçların doğru bir şekilde tartılması ve biyokütle ölçümü yapılması için dikkate alınmalıdır.
5. Örnek Kesit Alınması: Her bölümün ucundan yaklaşık 5 cm kalınlığında bir örnek kesit alınır. Bu kesitlerin kabukları soyulur ve hem odun kısmı hem de kabuk kısmının yaş ağırlıkları arazide belirlenir. Bu örnekler, ileri analizler için laboratuvara taşınır ve bu sayede her bölümün biyokütlesi ile karbon içeriği hakkında daha ayrıntılı bilgi elde edilir.

Bu işlem, ağacın tüm biyokütlesinin ve karbon içeriğinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesini sağlar. Bu tür detaylı ve sistematik ölçümler, havza bazlı karbon

depolama potansiyelini değerlendirmek için oldukça önemlidir ve iklim değişikliği ile mücadelede faydalı veriler sunar.

3.2.1.2. Dallar zerinde Yapılan İşlemler

Öncelikle dallardan yapraklar ve iğne yapraklar ayrılır. Ardından dallar, çaplarına göre 4 cm'den kalın ve 4 cm'den ince olmak üzere iki gruba ayrılır ve bu grupların yaş ağırlıkları ölçülür. Her iki gruptan seçilen örnek dalların kabukları soyularak odun ve kabuk kısımlarının yaş ağırlıkları arazide tespit edilir, etiketlenir ve ileri analizler için laboratuvara gönderilir. rnek alınırken, basınç odunu oluşumlarına dikkat edilmesi gerekir. Gövdeye yakın alt kısımlar ile u kısımlar arasındaki odun yoğunluğu farkından dolayı, her dal için ortalama bir temsil seçilir. Bu dalın alt, orta ve st üçte birlik bölümlerinden eşit uzunluktaki parçalar alınarak dal örnekleri oluşturulur (Yıldırım, 2019).

3.2.1.3. Yapraklar/ibreler üzerinde yapılan işlemler

Yapraklar ve iğne yapraklar genellikle dallardan bireysel olarak değil, bağlı oldukları kısa sürgünlerle birlikte ayrılır. Bu şekilde tartılarak yaş ağırlıkları belirlenir ve laboratuvar örnekleri de aynı yöntemle alınır. Bu sürgünlerle birlikte işlem yapılması mümkün olsa da, daha doğru bir yöntem olarak yaprakların sürgünlerden ayrılması ve yaprak-sürgün oranlarının hesaplanması tercih edilir. Sürgünlerden ayrılan yapraklar ayrı bir kategori olarak değerlendirebileceği gibi, hesaplamalara dal miktarına eklenerek de dahil edilebilir (Yıldırım, 2019).

3.2.1.4. Toprak altı rnekleme

Her rnek ağacın temsil ettiği alan, çevresindeki diğer ağaçlarla arasındaki mesafenin ortalarından geçen sınır çizgileri yardımıyla tespit edilir. Bu belirlenen alan, kök derinliğine kadar tamamen kazılarak incelenir. Belirli büyüklükte alanlarda yapılan temsilci örnekleme yöntemleri genellikle yanıltıcı sonuçlar verebilir, çünkü bir ağacın toprak altı biyokütlesinin büyük bir kısmı kök yumrusunda yoğunlaşmıştır. Bu nedenle, mutlaka örnek ağaca ait toprak altı bölümleri doğrudan örneklenmelidir. Kökler dikkatlice topraktan temizlenir ve kök yumrusu 4 cm'den kalın ve 4 cm'den ince olacak şekilde

gruplara ayrılarak tartılır. Gerekli görülmesi durumunda kabuk miktarı da ayrı olarak belirlenebilir (Yıldırım, 2019).

Tablo 3.2. Karışık Orman Ekosistemlerinde Toprakta Organik Karbon Miktarları (t/ha) (Tolunay ve Çömez, 2008)

Ağaç Türü	Profil Sayısı	En Düşük (t/ha-1)	En Yüksek (t/ha-1)	Ağırlıklı Ort. (t/ha-1)	Kaynaklar
Karaçam-Meşe	7	10,3	116,1	52,6	Özkan 2003; Çelik 2006
Ladin-Kayın	6	7,0	87,0	40,0	Altun 1995
Meşe-Ardıç	5	22,0	48,6	44,7	Özkan 2003; Çelik 2006
Kızılçam-Maki	3	86,4	110,6	100,8	Duran 1991
Sığla-Meşe-Kızılçam	2	302,4	374,3	338,3	Duran 1991
Toplam	33	7,0	374,3	70,8	

Yukarıdaki tabloda yer alan veriler, karışık orman ekosistemlerinde toprakta bulunan organik karbon miktarlarını göstermektedir. Karaçam-Meşe türü için 7 profil alınmış ve topraktaki organik karbon miktarı en düşük 10,3 t/ha, en yüksek ise 116,1 t/ha olarak belirlenmiştir, ortalama değeri ise 52,6 t/ha'dır. Ladin-Kayın türü, 6 profil ile 7,0 t/ha ile 87,0 t/ha arasında değişen karbon miktarlarına sahip olup, ortalama değeri 40,0 t/ha olarak hesaplanmıştır. Meşe-Ardıç türü 5 profil ile 22,0 t/ha ile 48,6 t/ha arasında değişen karbon değerlerine sahip ve ortalama değeri 44,7 t/ha'dır. Kızılçam-Maki türü, 3 profil ile 86,4 t/ha ile 110,6 t/ha arasında değişen karbon değerlerine sahip olup, ortalama değeri 100,8 t/ha'dır. Sığla-Meşe-Kızılçam türü, 2 profil ile 302,4 t/ha ile 374,3 t/ha arasında değişen karbon miktarlarına sahip ve ortalama değeri 338,3 t/ha'dır. Toplamda, 33 profil ile yapılan ölçümler, organik karbon miktarlarının 7,0 t/ha ile 374,3 t/ha arasında değiştiğini ve ortalama değerin 70,8 t/ha olduğunu göstermektedir.

Toprak organik karbonunun hesaplanması aşamasında, mikro havzada alınan toprak örnekleri üzerinde öncelikle organik madde, ardından organik karbon değerleri tespit edilmiştir. Aynı süreç, ağaçlandırma projeleri kapsamında fidan dikimi yapılan alanlarda da uygulanır. Bu sayede, havzadaki ağaçlandırma çalışmalarının karbon tutulumuna etkileri değerlendirilir. Ayrıca, havzada gerçekleştirilen diğer faaliyetlerin karbon tutumundaki katkıları da hesaplanarak havzanın toplam karbon değeri ortaya konur. Elâzığ Büyükşehir mikro havzasında bu amaçla 23 adet toprak profili açılmış, her profilden horizon esasına göre alınan toprak örnekleri, toprak analiz laboratuvarında detaylı incelemeye tabi

tutulmuştur. Analizlerde, toprağın kireç oranı, pH değeri, elektriksel iletkenliği (EC), organik madde miktarı, parçacık büyüklük dağılımı ve toprak sınıfı belirlenmiştir (Yıldırım, 2019).

3.2.2. Amenajman Planı ve Güncel Arazi Kullanımı

Mikro havzadaki amenajman planı ve güncel arazi kullanımına ait hesaplamalar aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 3.3. Güncel Arazi Kullanımı (Anonim, 2014)

Arazi Kullanım Tipi	Alan (ha)	Yüzde (%)
Bozuk orman	2563,65	24,01
Mera	37,25	0,35
Nehir	9,75	0,09
Orman Toprağı	7335,65	68,71
Verimli orman	580,22	5,43
Yerleşim	48,82	0,46
Ziraat	100,36	0,94
Toplam	10675,70	100,00

Tablo 3.4. Ağaçlandırma alanlarında topraktaki organik karbon miktarları (t/ha) (Tolunay ve Çömez, 2008)

Ağaç Türü	Profil Sayısı	En Düşük t/ha-1	En Yüksek t/ha-1	Ağırlıklı Ort t/ha-1	Kaynaklar
Sarıçam	12			108,4	Karagöz 1988
Karaçam	44	9,3	174,6	65,1	Kantarıcı 1979; Karaöz 1988; Akbin 1994; Kara 2002; Karatepe 2004
Fıstık Çamı	12	11,4	105,5	63,9	Karakan 1996; Kambak 1996
Kızılçam	11	74,4	316,0	149,1	Aydın 1996; Ölçücüoğlu 1997
Sahil Çamı	4	66,2	144,3	106,0	Kantarıcı 1983
Toplam	85	9,3	316,0	84,9	

Tabloyu incelediğimizde, ağaç türlerinin topraklarında bulunan organik karbon miktarlarının farklı profil sayıları ve değişken değerlerle sunulduğu görülüyor. Tablo, farklı ağaç türleri ve her tür için yapılan örnekleme sayısını (profil sayısı) gösteriyor. Örneğin, Sarıçam türü için 12 profil, Karaçam türü için 44 profil alınmıştır. Her bir ağaç

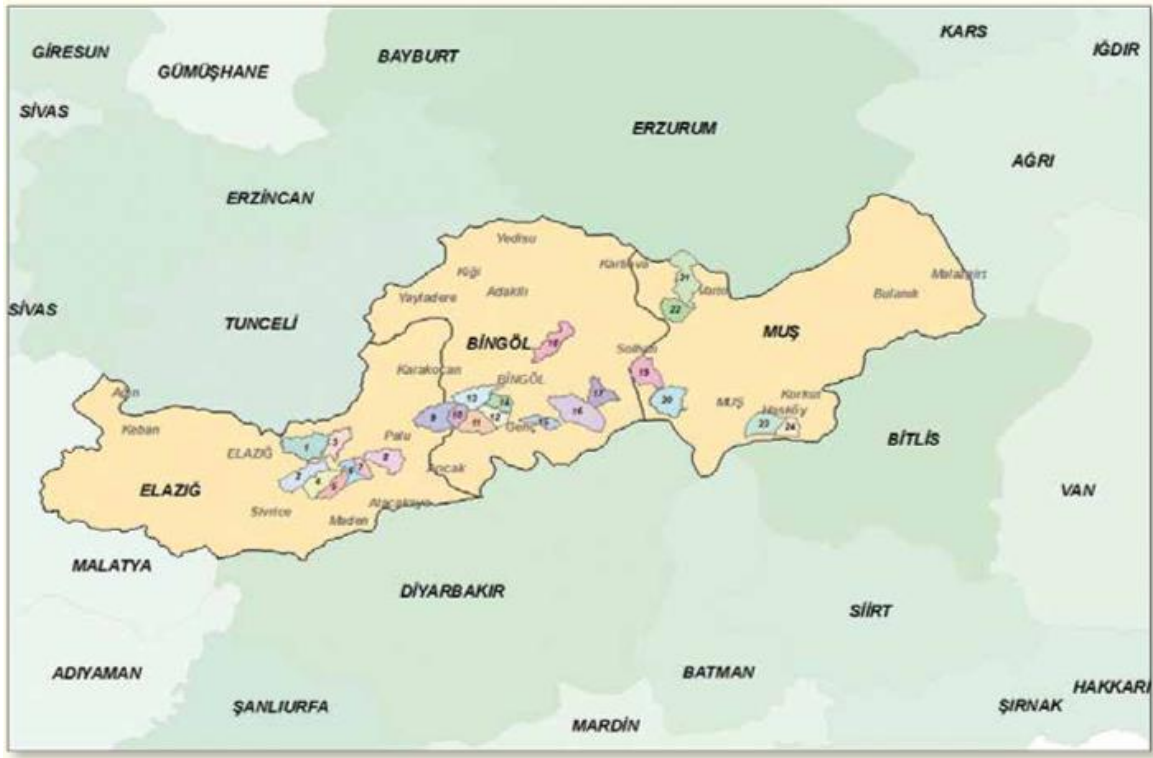
türü için topraktaki organik karbon miktarlarının minimum (en düşük) ve maksimum (en yüksek) değerleri belirtilmiştir. Örneğin, Sarıçam için en düşük organik karbon miktarı 108,4 t/ha iken en yüksek değer belirtilmemiştir. Karaçam türü ise 9,3 t/ha (en düşük) ile 174,6 t/ha (en yüksek) arasında değişmektedir.

Karaçam ve Kızılçam türleri, topraktaki organik karbon açısından diğer türlere göre daha yüksek ortalama değerlere sahiptir. Karaçam, daha geniş bir profil sayısına sahip olduğundan daha güvenilir bir ortalama sunmaktadır. Sarıçam türü, çok daha az veri ile raporlanmış ancak en düşük organik karbon miktarı, diğer türlerden daha yüksek bir seviyede yer alıyor. Fıstık Çamı ve Sahil Çamı türleri de topraktaki organik karbon miktarları açısından orta seviyelerde yer alıyor (Tablo 3.4).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Murat Nehri Havzasının Tanıtımı

Bingöl ili, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde, Yukarı Fırat havzası sınırlarında yer almaktadır. Coğrafi konum olarak $38^{\circ} 27' - 40^{\circ} 27'$ doğu boylamları ile $39^{\circ} 54' - 41^{\circ} 20'$ kuzey enlemleri arasında konumlanmıştır. İl, doğuda Muş, kuzeyde Erzurum ve Erzincan, batıda Elâzığ ve Tunceli, güneyde ise Diyarbakır illeri ile çevrilidir. Bingöl adı, Erzurum ile Muş arasında yer alan Bingöl Dağı'ndan esinlenerek verilmiş olup, 1944 yılına kadar bu yerleşim yeri "Çapakçur" ismiyle anılmıştır. Tarihi süreçte Çapakçur Kalesi'nin



Şekil 4.1. Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017)

sarp ve dağlık bir konumda bulunması nedeniyle yerleşim alanı, zamanla Çevlig veya Çolig olarak bilinen dere yatağına taşınmıştır. İlin iklim özellikleri, yüksek rakımı ve kuzeyden gelen serin, nemli hava kütlelerinin etkisiyle şekillenmektedir. Bu nedenle Bingöl'de yazlar sıcak, kışlar ise soğuk ve sert geçmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1981-2010 dönemine ait klimatolojik

verilerine göre, Bingöl'de yıllık ortalama sıcaklık 12,1°C'dir. Aynı dönemde yıllık ortalama yağış miktarı 700,2 mm olarak ölçülmüş, kar yağışlı gün sayısı ortalama 24,5 gün, donlu gün sayısı ise yaklaşık 94,1 gün olarak belirlenmiştir (Bedil, 2016).

Yukarıdaki görselde, “Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi” kapsamında hazırlanmış bir harita ile projenin genel yapısını ortaya koyan bir şema yer almaktadır. Bu tür projelerin temel hedefleri arasında, havza ekosistemlerinin restorasyonu, su kalitesinin iyileştirilmesi, erozyonla mücadele edilmesi ve biyoçeşitliliğin korunması gibi çevresel amaçlar bulunmaktadır. Harita üzerinde, nehir havzasında gerçekleşen değişiklikler ile rehabilitasyon çalışması yürütülen alanlar görsel olarak belirtilmiştir.

Murat Nehri Havzası'nın su kaynaklarına genel bir bakış sunulacak olursa; nehir, Bulanık Ovası'nda Hınıs Çayı ile, Malazgirt'in batısında Banşan Deresi ile ve Liz Ovası'nda Liz Çayı ile birleşmektedir. Batı yönünde dar yapılı Manahik Boğazı'ndan geçen nehir, Varto yakınlarında Tepeköy civarında Bingöl'ün Çarbuher Deresi ile birleşmekte, ardından kuzey-güney doğrultusunda ilerleyerek Muş Ovası'na ulaşmaktadır. Muş Ovası'nda Karasu kolunu alan Murat Nehri, daha sonra dar bir geçit olan Palu Boğazı'na girmektedir. Elâzığ Ovası'nda kuzey sınır boyunca batıya yönelen nehir, Kalan, Peri, Mercan ve Pülümür çaylarının birleşiminden oluşan Munzur Suyu'nu aldıktan sonra Keban bölgesine ulaşmaktadır. Keban'ın kuzeyinde ise Erzurum dağlarından doğan Karasu Çayı ile birleşir; bu çay Erzincan'ın Tercan ilçesi sınırlarında Tuzla Deresi ile birleşmektedir (AFAD, 2021).

Yapılan bilimsel çalışmalara göre, Murat Nehri Havzası, Fırat Nehri'nin su hacminin yaklaşık üçte birini sağlamaktadır. Aynı zamanda Karasu Nehri'ne göre iki kat daha geniş bir su toplama alanına sahiptir. Havzanın toplam alanı yaklaşık 50.000 km², uzunluğu ise 722 km olarak belirlenmiştir (Liverani, 1995). Coğrafi konum itibarıyla havzanın doğusunda Iğdır ili ve Van Gölü, batısında Karasu Alt Havzası, kuzeyinde Aras Havzası, güneyinde ise Dicle Havzası yer almaktadır (Pehlivan, 2022).

Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi'nin planlama süreci 2010 yılında başlamış, Türkiye Cumhuriyeti ile Birleşmiş Milletler Uluslararası Tarımsal Kalkınma Fonu (IFAD) arasında 15 Şubat 2013 tarihinde imzalanan ikraz anlaşmasıyla resmen uygulamaya konulmuştur. 2013-2019 döneminde yürütülen bu proje, Bingöl, Elâzığ ve Muş illerinde 25 mikro havzayı kapsamıştır. Projenin temel hedefleri, havzanın üst kesimlerinde yaşayan kırsal nüfusun yoksulluğunun azaltılması ve doğal kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasıdır. Doğal kaynakların iyileştirilmesi, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve sistemli izleme süreçlerini içeren proje,

sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi yaklaşımını benimsemektedir. Katılımcı yöntemlerle yürütülen bu proje kapsamında, kamu kurumları ile yerel halkın iş birliği esas alınmış ve tüm toplumsal paydaşlar planlama, karar alma, uygulama ve izleme süreçlerine dahil edilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017).

Ayrıca, 2013-2022 yılları arasında yürütülen Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (MNHRP), uygulama kapsamını genişletmiş ve toplam 36 mikro havzada faaliyet göstermiştir. Bu süreçte, doğal kaynakların korunmasına yönelik yatırım projeleri, kırsal gelirlerin artırılmasına dönük uygulamalar ile eğitim ve farkındalık faaliyetleri sürdürülmüştür. Projenin sonlarına yaklaşıldığı bu dönemde, yürütülen faaliyetlerin karbon salınımı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır (Yılmaz, 2022).

4.2. Çapakçur Mikro Havzası'nın Coğrafi, İklimsel ve Ekolojik Özellikleri

Murat Nehri Havzası, Türkiye'nin doğusunda yer alan Ağrı, Bingöl, Elâzığ, Erzurum ve Muş illerinin mülki idari sınırları içerisinde bulunan toprakların tamamını ya da bir kısmını kapsamaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde konumlanan Bingöl

Tablo 4.1. Çapakçur Mikro Havzası Özet Bilgiler (Bingöl Orman İşletme İl Müdürlüğü)

Mikrohavza İli	BİNGÖL
Mikrohavza İlçesi	MERKEZ
İlçeye Uzaklığı	2 Km
Orman Bölge Müdürlüğü	ELAZIĞ
İşletme Müdürlüğü	BİNGÖL
İletme Şefliği	MERKEZ

Köy Adı	Nüfusu	Projeyi Kabul Etme Durumu (Evet/Hayır)
Alıncık	160	EVET
Aşağıköy	235	EVET
Balpınar	150	EVET
Çiris	280	EVET
Ortaköy	165	EVET
Şaban	455	EVET
Üçyaka	360	EVET
Yelesen	700	EVET
TOPLAM	2505	

ili; doğuda Muş, batıda Elâzığ ve Tunceli, kuzeyde Erzincan ve Erzurum, güneyde ise Diyarbakır illeriyle çevrilidir. Bingöl ili, $39^{\circ} 56' - 41^{\circ} 20'$ doğu boylamları ile $36^{\circ} 28' - 39^{\circ} 31'$ kuzey enlemleri arasında yer almakta olup, toplam yüzölçümü 8.004 km^2 'dir. Bu alanın yaklaşık $7.120,20 \text{ km}^2$ 'si Murat Nehri Havzası sınırları içerisinde yer almaktadır. İlin topografyası oldukça engebeli ve yüksek bir yapı sergilemektedir. Ortalama rakım 1.250 metreyi aşmakta olup, arazi büyük ölçüde dağlık ve tepelik karakterdedir. Yükseklikleri 2.000 metreyi aşan dağlık alanlar ile 1.500-2.000 metre arasındaki tepelik alanlar, bölgedeki yoğun tektonik hareketlerin bir sonucu olarak oluşmuştur. Bingöl dağlarının jeolojik yapısı ise büyük oranda andezit ve bazalt gibi volkanik kayalardan meydana gelmektedir (Pehlivan, 2022).

Bölge ekonomisi ağırlıklı olarak tarım, hayvancılık ve ormancılık faaliyetlerine dayanmaktadır; bu alanlarda çalışan bireyler, toplam nüfusun önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İnşaat ve imalat sektörlerinde istihdam edilenlerin oranı ise etkin nüfusun yaklaşık %3'ü civarındadır. Öte yandan, kentte büyük ölçekli bir sanayi kuruluşunun bulunmadığı görülmektedir (ÇŞİDB, 2020).

Çapakçur Mikro Havzası, Murat Nehri'ne su sağlayan önemli bir alt havza konumundadır ve bu özelliği sayesinde bölgesel ölçekte su kaynakları yönetiminde stratejik bir rol üstlenmektedir. Havzada yürütülen rehabilitasyon faaliyetleri yalnızca yerel düzeyde çevresel iyileşmelere katkı sunmakla kalmayıp, aynı zamanda Murat Nehri Havzası genelinde ekolojik dengenin sürdürülebilirliği açısından da büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin en büyük hidroelektrik enerji yatırımlarından bazılarını ev sahipliği yapan Murat Nehri için, bu alt havzanın su kalitesinin korunması ve debisinin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi hayati önemdedir. Özellikle yapılan toprak koruma ve ağaçlandırma çalışmaları sayesinde havzadan nehre taşınan tortu ve erozyon miktarı azaltılmış, bu da su kalitesinin korunmasına doğrudan katkı sağlamıştır. Bununla birlikte, rehabilitasyon çalışmaları yalnızca bitki örtüsünün iyileştirilmesiyle sınırlı kalmamış; aynı zamanda bölgedeki biyolojik çeşitliliğin desteklenmesine de olanak tanımıştır. Havzada yaşayan fauna; küçük memeliler, çeşitli kuş türleri ve bazı sürüngenlerden oluşmakta olup, bu türlerin yaşam alanlarının geri kazanılması sağlanmıştır. Uygulanan ekolojik restorasyon yöntemleri hem flora hem de fauna açısından bölgesel ekosistemin güçlenmesine katkı sunarak, uzun vadeli çevresel faydalar sağlamayı amaçlamaktadır.

4.2.1. Mikro Havzanın Coğrafi Özellikleri

Çapakçur Mikro Havzası, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Türkiye'nin önemli nehirlerinden biri olan Murat Nehri'ne su sağlayan alt havzalardan biridir. Murat Nehri, Fırat Nehri'nin ana kollarından birini oluşturur ve bölge, Türkiye'nin su kaynakları açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Çapakçur Mikro Havzası, genel olarak dağlık ve engebeli bir topoğrafyaya sahiptir; bu özellik, bölgede suyun akış yönünü, toprak hareketlerini ve erozyon eğilimini doğrudan etkilemektedir. Havzanın farklı kesimlerinde rakımın değişkenlik göstermesi hem mikroklimatik koşulların hem de ekolojik dinamiklerin çeşitlenmesine yol açmaktadır. Bu topoğrafik yapı, özellikle eğimli arazilerde gerçekleştirilen erozyon kontrolü ve ekolojik restorasyon çalışmalarında dikkate alınması gereken temel bir unsurdur. Havzanın ana su kaynağını oluşturan Çapakçur Deresi, doğrudan Murat Nehri'ne su taşımakta olup, bölgedeki su döngüsünde kritik bir rol oynamaktadır. Akarsu rejimi zaman zaman taşkınlara ya da kuraklık dönemlerine sahne olmakta, bu da iklim değişikliği bağlamında sürdürülebilir su yönetimini daha da önemli hâle getirmektedir. Bölgenin Murat Nehri Havzası'nın bir alt havzası olması, su kaynaklarının düzenlenmesi ve yönetilmesi açısından stratejik bir konumda yer aldığını göstermektedir. Ayrıca bu alt havzanın Murat Nehri aracılığıyla Fırat-Dicle havzasına katkı sağlaması, sadece ekolojik denge açısından değil, aynı zamanda Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeli ve su güvenliği açısından da önemli bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, havzanın korunması ve iyileştirilmesine yönelik yürütülen çalışmalar hem yerel çevresel sürdürülebilirlik hem de ulusal ölçekte kaynak yönetimi açısından hayati öneme sahiptir (Avcı vd. 2018).

4.2.2. Havzanın İklim Özellikleri

Bingöl, yaz aylarında belirgin su yetersizliği görülen, nemli ve ikinci derece mezotermal özellik taşıyan bir iklim tipine sahiptir. Çapakçur Mikro Havzası ise Doğu Anadolu'nun karasal iklim koşulları altında yer almakta olup, uzun ve sert geçen kışlar kar yağışlı; yazlar ise sıcak ve kuraktır. Bu iklimsel koşullar, bölgedeki doğal bitki örtüsü ile toprak özellikleri üzerinde doğrudan ve belirleyici etkilere sahiptir (Pehlivan, 2022).

Tablo 4.2. Çapakçur Mikrohavzasının Ortalama Yağış, Sıcaklık, Yağış Etkinliği İndisi ve İklim Tiplerinin Aylara Göre Dağılımı (Avcı vd., 2018)

AYLAR	ORTALAMA YAĞIŞ (mm)	ORTALAMA SICAKLIK (°C)	YAĞIŞ ETKENLİĞİ İNDİSİ	İKLİM TİPİ
Ocak	102.1	1.6	765.7	Çok Nemli
Şubat	120.4	2.9	498.2	Çok Nemli
Mart	116.1	9.6	145.1	Çok Nemli
Nisan	112.6	17.4	77.6	Çok Nemli
Mayıs	69	23.6	35	Yarı Nemli
Haziran	17.8	30.2	7.07	Çöl
Temmuz	3.6	35.2	1.22	Çöl
Ağustos	2.7	35.1	0.9	Çöl
Eylül	10	30.1	3.9	Çöl
Ekim	67.7	21.9	37	Yarı Nemli
Kasım	103.3	12.4	99.9	Çok Nemli
Aralık	106.2	4.9	260	Çok Nemli
Yıllık	831.5	18.7	44.4	Nemli

Çapakçur Mikro Havzası'nda iklimsel koşullar, rehabilitasyon projelerinin planlanmasında belirleyici unsurlardan biri olmuştur. Bölgede kış aylarında sert don olaylarına sıkça rastlanmakta, yaz aylarında ise sıcaklıklar 30°C'ye kadar yükselmektedir. Bu sıcaklık dalgalanmaları hem ekolojik denge hem de tarımsal üretim açısından önemli etkilere sahiptir. Rehabilitasyon uygulamaları, bu sıcaklık değişkenliğini dikkate alarak uygun bitki türlerinin seçimi ve toprak stabilizasyon tekniklerinin geliştirilmesi yönünde şekillendirilmiştir. Yıllık yağış miktarı ise genellikle 400 ile 600 mm arasında değişmekte olup, yağışların büyük bir bölümü kış ve ilkbahar aylarında gerçekleşmektedir. Kar yağışları özellikle su kaynaklarının yaz aylarında sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, projelerde yağış rejiminin toprak erozyonunu artırıcı etkisi dikkate alınarak, eğimli arazilerde erozyon kontrolüne yönelik yapısal önlemler ve bitkisel uygulamalar hayata geçirilmiştir. Diğer yandan, yaz dönemlerinde düşük nem oranı ve yüksek buharlaşma, toprakta nemin hızla kaybolmasına ve bitki gelişiminin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek amacıyla su tutma kapasitesi yüksek bitki türlerinin tercih edilmesi, teraslama gibi suyu toprakta tutan uygulamaların kullanılması gibi stratejiler izlenmiştir. Tüm bu iklimsel faktörler doğrultusunda planlanan

müdahaleler, ekosistemin iklim değışkenliğine karşı daha dirençli hâle gelmesini sağlamayı hedeflemektedir (Avcı vd. 2018).

4.2.3. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Toprak Özellikleri

Murat Nehri Havzası'nın da içinde yer aldığı Doğu Anadolu Bölgesi'nin jeolojik yapısı incelendiğinde, neo-tektonik dönemle birlikte bölgede sıkışmaların başladığı ve bunun sonucunda yükselmelerin meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu süreçte, tektonik hatlar boyunca çeşitli volkanik faaliyetler gelişmiş ve bu durum bölgenin bugünkü yüksek ve engebeli topoğrafik yapısını oluşturmuştur. Yükselen alanlar dağlık kesimleri oluştururken, çöken kısımlar ise havzanın tabanını meydana getirmiştir. Ayrıca bu volkanik hareketler, geniş platolarla birlikte bu platoların üzerinde volkanik konilerin şekillenmesine neden olmuştur. Havzanın genel jeolojik yapısı ise çoğunlukla metamorfik ana kayalardan oluşmaktadır (ÇŞİDB, 2020).

Toprak yapısına bakıldığında, bölgede görülen iklimsel koşullar ve bitki örtüsü çeşitliliği, toprakların oluşumu üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Özellikle iklimin toprak horizonlarının gelişimini belirgin şekilde etkilediği; anakaya üzerinde oluşan toprakların ise derin, kumlu, killi ve kumlu balçıklı bir yapıda olduğu ifade edilmektedir (ÇŞİDB, 2020).

Havzanın fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde; topoğrafya, iklim, jeolojik yapı ve toprak türleriyle birlikte, mera ve orman alanlarının tahribi ve tarımda uygulanan yanlış yöntemlerin erozyon oranlarını artırdığı görülmektedir. Özellikle eğimli yamaçlarda bulunan tarım alanları, mera-orman sınırları ve bozulmuş ormanlık sahalarda düşük şiddetli erozyon etkileri gözlenmektedir (Demir ve Demir, 2016).

Bölgede hâkim olan karasal iklimin etkisiyle oluşmuş ince yapılı, zaman zaman kumlu ve çakıllı olan topraklar, erozyon riskini artıran temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle uygulanan rehabilitasyon projelerinde hem toprak kalitesini artırmaya hem de karbon depolama kapasitesini geliştirmeye yönelik olarak organik ve mineral içerikli destekleyici uygulamalara yer verilmiştir. Toprağın fiziksel nitelikleri yalnızca tarımsal üretimi değil, aynı zamanda ormanlık alanların sağlıklı gelişimini de doğrudan etkilemektedir. Erozyonun önlenmesine yönelik olarak, özellikle tarım dışı alanlarda

gerçekleştirilen uygulamalar sayesinde toprağın karbon tutma kapasitesinde artış sağlanmıştır. Bingöl ili sınırlarında yer alan Çapakçur Mikro Havzası'nda, Elâzığ Orman Bölge Müdürlüğü koordinasyonunda 572,476 hektarlık bir alanda toprak koruma ve erozyonla mücadele çalışmaları yürütülmektedir. Bu kapsamda, 69,419 hektarlık bozulmuş ormanlık alanın yeniden ağaçlandırılması, 200 km uzunluğunda gradoni teras yapımı, 45,12 km geonet çit ve 54,88 km kafes tel çit uygulamaları planlanmıştır. Ayrıca, 258.224 adet fidanın dikilmesi öngörülmüş olup, dikim işlemi sonrasında %15 oranında ek fidan dikimi daha yapılması planlanmaktadır. Söz konusu projede sedir, karaçam, sarıçam, meşe, ceviz ve badem gibi bölgeye özgü, iklim koşullarına dayanıklı fidan türleri kullanılmaktadır. Eğimli ve engebeli arazi koşullarına uygun olarak geliştirilen gradoni teraslama yöntemleri ve ekskavatör yardımıyla yapılan toprak işleme çalışmaları sayesinde hem erozyon önlenmekte hem de ormanlaştırma faaliyetlerine destek sağlanmaktadır (Anonim, 2014).

4.2.4. Çalışma Alanının Bitki Örtüsü

Ormanlık alanları yalnızca karbon depolayan rezervuarlar olarak görmek yeterli değildir; zira bu alanlar, yapılan müdahalelere bağlı olarak karbon salımı yapan birer kaynak haline de gelebilmektedir. Ormanların karbon havuzu işlevini sürdürebilmesi, bu ekosistemlere yönelik müdahalelerin, ormanların yıllık biyokütle artışını aşmaması ile mümkün olmaktadır (Pehlivan, 2022).

Orman ekosistemleri, yalnızca ağaçlar üzerinden değil, aynı zamanda tüm ekosistem bileşenleri aracılığıyla karbon depolama kapasitesine sahiptir (Tolunay ve Çömez, 2007). Bazı durumlarda, bitki örtüsünden daha fazla karbon toprak içerisinde birikebilmektedir. Ancak topraktaki karbon sadece organik yapıdan ibaret değildir; aynı zamanda inorganik karbon da toprakta bulunabilmektedir. Bu nedenle, topraktaki gerçek organik karbon miktarını belirlemek için toprak örnekleme yapılmalı ve kireç analizi ile inorganik karbon toplam miktardan ayrıştırılmalıdır. Çalışma sahasında bu ayrım doğrudan yapılmadığı için sadece orman ağaçlarının biyokütlesinde depolanan karbon dikkate alınmıştır. Bu nedenle, tezde kullanılan "ağaç bitkisel kütle karbonu" ifadesi bu duruma işaret etmektedir (Pehlivan, 2022).

Çapakçur Mikro Havzası, zengin bir biyolojik çeşitliliğe sahip olmakla birlikte, insan etkisi ve iklim değişikliği nedeniyle bu çeşitlilik zamanla azalma göstermektedir. Bu nedenle uygulanan rehabilitasyon projeleri, bölgedeki ekolojik dengeyi yeniden tesis etmek ve doğal yaşamı korumak açısından büyük önem taşımaktadır. Bölge genel olarak step ve dağ bitkileriyle kaplı olmakla birlikte, ağaçlandırma faaliyetleriyle bitki örtüsünün zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Özellikle su tutma kapasitesi yüksek bitki türlerinin tercih edilmesi, hem erozyonun önlenmesi hem de karbon yutak alanlarının artırılması açısından etkili sonuçlar doğurmuştur. Yerel ve iklim koşullarına uyumlu türlerin kullanılması, ekosisteme uyumu kolaylaştırmış ve sürdürülebilir bir karbon emme yaklaşımını desteklemiştir. Havza sınırları içerisinde orman, mera ve tarım arazileri bir arada bulunmaktadır. Ormanlık alanlarda başlıca meşe (*Quercus sp*), ardıç, titrek kavak, yabani armut ve huş türleri yer almaktadır. Tarım alanlarında ceviz, elma, armut ve ayva gibi meyve ağaçlarının yanı sıra buğday, arpa ve yonca gibi tarım ürünleri yetiştirilmektedir. Mera alanlarında ise geven başta olmak üzere çeşitli yem bitkilerinin yaygın olduğu görülmektedir (Anonim, 2014).

4.3. Çapakçur Mikro Havzası'nda Uygulanan Faaliyetlerin İklim Değişikliğine ve Karbon Salınımına Etkisi

Dünya yüzeyinin yaklaşık %26,6'sını, yani 3,4 milyar hektarlık bir alanı kaplayan ormanlar, küresel ölçekte önemli bir ekosistem unsurudur. Artan orman ürünleri talebiyle birlikte, azalan orman alanları ve verimlilik sorunları, bu kaynakların daha iyi anlaşılmasını ve doğru bir şekilde tahmin edilmesini zorunlu hale getirmiştir. Ormanların sürdürülebilir şekilde yönetilmesi amacıyla geçmişten bu yana çeşitli ormancılık teknikleri uygulanmaktadır. Bu tekniklerin en eskilerinden biri, doğanın üretim gücünün kontrollü şekilde kullanılmasıdır. Ancak günümüzde giderek daha fazla benimsenen sürdürülebilir ekosistem yönetimi anlayışı, ormanların yalnızca bir kaynak olarak değil, çok işlevli ekosistemler olarak değerlendirilmesini ön plana çıkarmıştır. Bu doğrultuda, orman yönetimi ve koruma politikaları, yalnızca ürün elde etmeye değil, aynı zamanda ekosistem hizmetlerinin tamamını kapsayacak biçimde genişletilmiştir (Farrell et al. 2000).

İnsan etkinlikleri, ormanlık alanların doğal yaşam alanı özelliklerini kaybetmesine ve değer yitimine uğramasına neden olmaktadır. Özellikle orman yangınları, plansız ağaç kesimi,

yoğun otlatma, orman arazilerinin tarım ve yerleşim alanlarına dönüştürülmesi, asidik çökelti ile istilacı türlerin yayılması gibi faktörler, ormanların miktarını, kalitesini ve biyolojik üretkenliğini ciddi ölçüde tehdit eden baskılar arasında yer almaktadır. Sanayi devrimi sonrasında bu tehditlerin kapsamı ve etkisi küresel ölçekte artmıştır. Ormanlar, yeryüzünün en önemli karbon yutakları arasında yer almakla birlikte, bu ekosistemlerin yok olması ya da tahrip edilmesi, fosil yakıtların yoğun kullanımı gibi karbon kaynaklarının artışıyla birleştiğinde, karbon döngüsünde büyük bozulmalara yol açmaktadır. Bu dengesizlik, atmosferdeki karbondioksit oranının yükselmesine ve buna bağlı olarak küresel iklim değişikliklerinin tetiklenmesine neden olmaktadır (Yılmaz, 2006b).

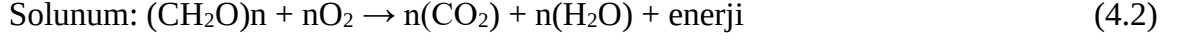
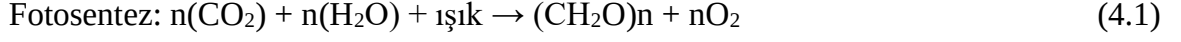
Türkiye ormanlarında, 2020 yılı sonu itibarıyla yaklaşık 2 milyar ton karbon depolandığı tahmin edilmektedir (OGM, 2020a). Bu miktarın önemli bir bölümü toprak ve humus tabakasında yer almaktadır. Toprak, karasal ekosistemler içerisindeki en büyük karbon rezervuarı olarak kabul edilmekte ve bu nedenle dikkatle korunması gereken doğal kaynaklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Uygun yöntemlerle ve dikkatli bir şekilde yönetildiği takdirde, toprak önemli miktarda karbon bağlama kapasitesine sahiptir. Türkiye genelindeki topraklarda, yaklaşık 30 cm derinlikte toplam organik karbon miktarı 3,5 milyar ton civarında hesaplanmaktadır. Orman alanlarında hektar başına karbon birikimi ortalama 56 ton civarındayken, mera alanlarında bu değer yaklaşık 50 ton, tarım alanlarında ise yaklaşık 36 ton düzeyindedir (ÇEM, 2018a).

Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında Bingöl ili Çapakçur Mikrohavzasında 2014-2021 yılları arasında 2021 yılı sonuna kadar Yelesen, Şabanköy, Ortaköy, Aşağıköy, Alıncık, Çiriş, Balpınar ve Üçkaya köylerinde toplam 100,8 ha ağaçlandırma, 2089,80 ha erozyon kontrolü ve toprak muhafaza, 300 ha mera rehabilitasyonu, 14 adet hayvan içme suyu suvatı, 7 adet açık hayvan barınağı (hayvan gölgeliği), 170 da buğday ve arpa veriminin iyileştirilmesi, 151 da yem bitkisi üretiminin iyileştirilmesi, 2 adet hayvan barınaklarının iyileştirilmesi, 95,5 da kapama meyve bahçesi, 16 da tarlada sebze üretimi, 5,8 da tarla içi damlama sulama tesisi, 7 adet köy çeşmesi, 40 adet güneş enerjili su ısıtma sistemi, 99 adet hane izolasyonu (mantolama), 214 adet enerji tasarruflu soba faaliyetleri proje kapsamında uygulaması gerçekleştirilmiştir (Yılmaz, 2022).

Proje uygulama yılları tablosunda verildiği gibi Çapakçur MH uygulama yılları 2014-2021 olarak alınmıştır. Bu sonuçla Çapakçur MH proje faaliyetlerinin uygulama süresi 8 yıl olarak alınmıştır. Bu mikrohavza da 2021 yılı itibarıyla faaliyetlerin uygulaması sonlandırılmıştır. Proje faaliyetleri tamamlanmış olsa bile bazı faaliyetlerin faydası devam edebilmektedir. Bu süreye kapitalizasyon (faydasını görme) süresi denilmektedir. Bazı faaliyetlerin fayda süresi 20 yılı aşkın bir süre olsa da kapitalizasyon süresi fayda-maliyet analizi raporunda hesaplandığı gibi bu çalışmada da 20 yıl olarak alınmıştır. Dönem analizi 28 yıl alınmıştır (Yılmaz, 2022).

Türkiye'deki orman zeminleri günümüzde önemli bir karbon havuzu niteliği taşımaktadır. Orman ekosistemleri, biyolojik, fiziksel ve kimyasal süreçlerin etkileşim halinde olduğu karmaşık yapıli sistemlerdir. Ağaçlar bu sürecin yalnızca bir parçası olup, toprak hem üretim ortamı hem de kök gelişimi açısından temel bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Toprak, aynı zamanda sızan suları filtreleyerek yüzeysel akışın önlenmesinde de kritik rol oynamaktadır. Bu işlevine ek olarak, iklim düzenleyici özelliğiyle güçlü bir karbon deposu görevi görmektedir. Ormanlar, büyük oranda toprakta, daha az miktarda ise bitki örtüsünde biriken yüksek düzeyde organik karbonu bünyelerinde barındırarak karbon döngüsünün sürdürülebilirliği açısından temel işlevler üstlenmektedir. Ormanların bu karbon tutma kapasitesi ormancılık uygulamalarından etkilenmekte, özellikle orman yöneticilerinin toprak organik karbonu üzerindeki uzun vadeli etkileri, küresel iklim değışiklikleri üzerinde doğrudan sonuçlar doğurabilmektedir (Pehlivan, 2022).

Aynı zamanda ormanlar, atmosferdeki oksijenin üretiminde, yani temiz solunabilir havanın sağlanmasında da yaşamsal öneme sahiptir (Durkaya vd., 2016). Küresel karasal bitki örtüsünün yaklaşık %54'lük kısmını oluşturan ormanlar, birim alan başına düşen en yüksek bitkisel biyokütleyle sahiptir (Vasilyev, 1971). Ormanlarda gerçekleşen fotosentez süreci, atmosferdeki karbondioksitin tüketilmesine ve karşılığında oksijenin üretilmesine dayanır. Ağaçların net oksijen üretimi ise, fotosentez yoluyla üretilen oksijen miktarından bitkilerin solunumu sırasında tüketilen oksijen miktarının çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır (Irmak, 1970; Çepel, 1978):



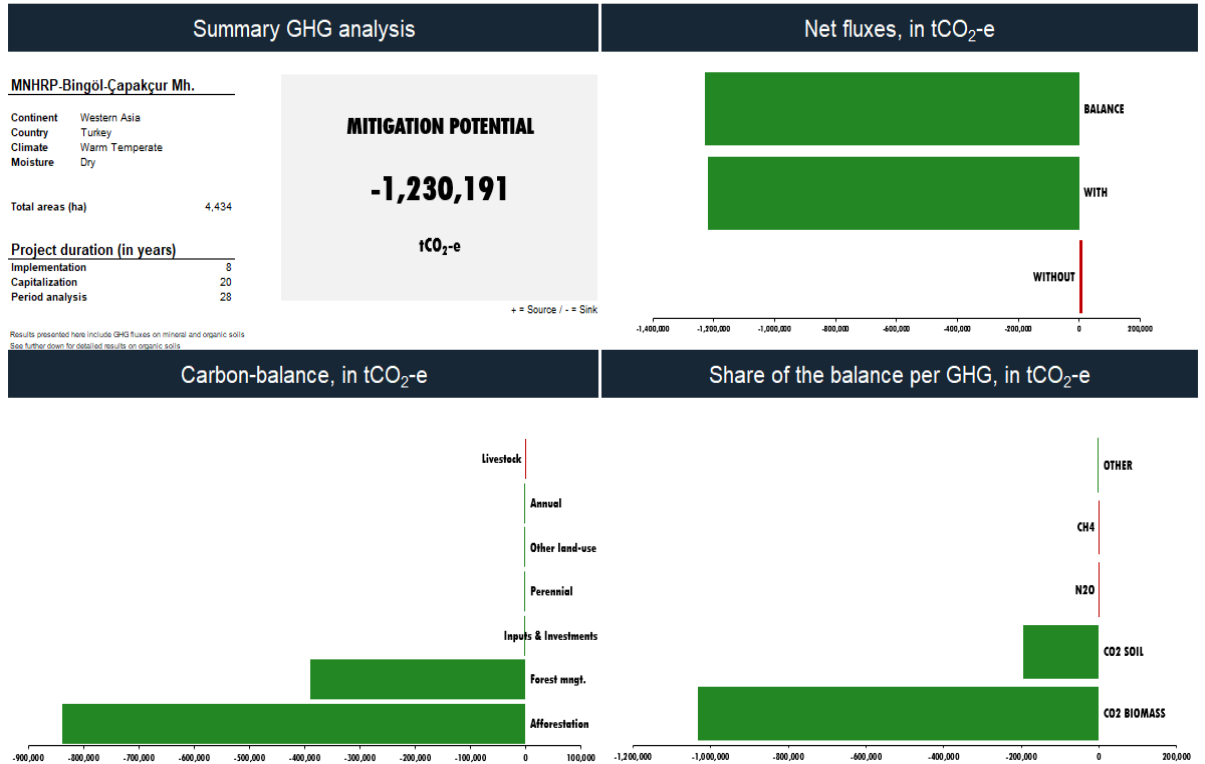
Fotosentez sürecinde, ağaçlar atmosferden karbondioksit alır ve bu gazı organik bileşiklere dönüştürürken oksijen üretirler. Eğer bir yıl boyunca gerçekleştirilen fotosentez sonucunda alınan karbondioksit miktarı, aynı süre zarfında solunum yoluyla atmosfere verilen karbondioksit miktarını geçerse, ağaç bünyesinde karbon biriktirmeye başlar. Bu durum, hem ağacın büyümesiyle sonuçlanan net bir karbon kazancına hem de oksijen üretiminin artmasına yol açar (Nowak ve ark., 2007). Bu çalışmada, küresel iklim değişikliğinin temel nedenlerinden biri olan sera gazı salınımının artışı ve orman alanlarının giderek azalması arasındaki bağlantıya odaklanılmıştır. Bu bağlamda, ormanların iklim değişikliğini önlemede oynadığı kritik rolün, yalnızca karbon yutma kapasiteleriyle değil, aynı zamanda oksijen üretme potansiyelleriyle de ilişkilendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Dolayısıyla, orman ağaçlarının oksijen üretim değerlerinin belirlenmesi, bu işlevin önemini somutlaştırmak açısından yerinde bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir (Pehlivan, 2022).

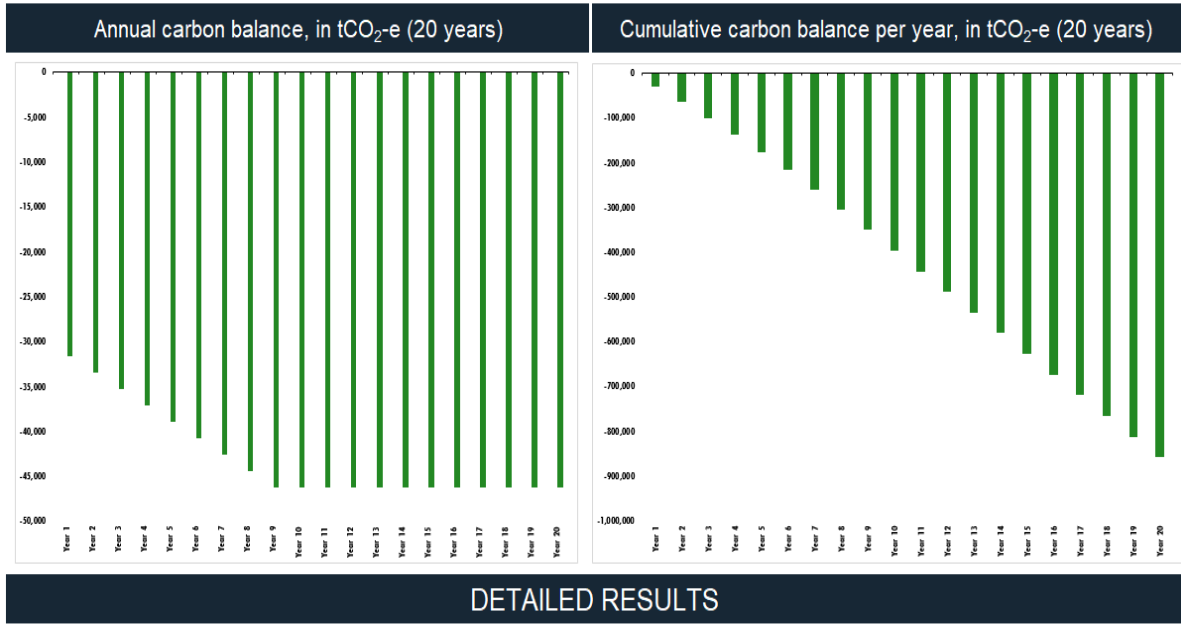
MNHRP faaliyetleri sonrası Tablo 4.3'te detaylı verildiği üzere uygulanan faaliyetlerin karbon salınımına etkisi hesaplanmıştır. Bu sonuçla 8 yıllık uygulama süresi ve 20 yıllık kapitalizasyon süresi baz alındığında 1.230,191 tCO₂-e/28 yıl karbon salınımını balanse ettiği tespit edilmiştir. Faaliyet bazlı değerlendirme yapılmak istenirse karbon salınımını en fazla azaltan faaliyetler olarak doğal kaynak rehabilitasyonu kapsamında yapılan orman yönetimi, ağaçlandırma, toprak muhafaza ve erozyon kontrolü, kapama meyve bahçe bahçesi kurulumu ile diğer tarımsal faaliyetler, enerji tasarruflu teknolojik faaliyetlerinin yaygınlaştırılması ve uygulanmasıdır. Karbon salınımını arttırıcı faaliyetler ise hayvan barınaklarının iyileştirilmesi, proje kapsamında yapılan yeni metal ve beton yapılar (hane izolasyonu, ekmek fırını, sulama havuzları, sera kurulumu, çeşme, gölgelik vb.) ile çok düşük miktarda da damlama sulama faaliyetlerinin yaygınlaştırılması ile su kaynaklarının kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Yılmaz, 2022).

kapitalizasyon süresi ise 20 yıl olarak belirlenmiştir. Toprak organik karbon stoku başlangıç değeri 36,19 tC/ha olarak verilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, toplam karbon dengesi -1.230.191 tCO₂-e olarak negatif bir sonuçla neticelenmiştir; bu durum, bölgedeki karbon salımının tutumundan daha fazla olduğunu göstermektedir. Arazi kullanım değişiklikleri ve bu değişikliklerin karbon stoklarına etkisi detaylandırılmış; karbon salımını azaltan unsurlar yeşil renk ile, artıran unsurlar ise kırmızı ile gösterilmiştir. Tabloda yer alan veriler, sürdürülebilir karbon yönetimi ve bölgesel emisyon azaltma stratejileri için kritik bir kaynak oluşturmaktadır.

Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi Bingöl ili Çapakçur Mikrohavzasında uygulanan faaliyetlerinin Ex-act sistemine girişi ile kümülatif karbon dengesi sonuç tablosu Tablo 4.4’de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 4.4. Bingöl ili Çapakçur Mikro Havzası Ex-Act Kümülatif Karbon Dengesi Sonuç Tablosu (Yılmaz, 2022)





Bingöl ili mikrohavza bazlı faaliyet ve gerçekleştirmelerin sisteme entegre edilmesi sonucunda Tablo 4.4’de detaylı sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçla Bingöl ilinde yapılan çalışmaların uygulama ve kapitalizasyon süreleri baz alındığında toplam 3.909,944 tCO₂-e karbonu azalttığı balanse ettiği hesaplanmıştır. Faaliyet bazlı değerlendirme yapılmak istenirse karbon salınımını en fazla azaltan faaliyetler olarak doğal kaynak rehabilitasyonu kapsamında yapılan orman yönetimi, ağaçlandırma, toprak muhafaza ve erozyon kontrolü, kapama meyve bahçe bahçesi kurulumu ile diğer tarımsal faaliyetler, enerji tasarruflu teknolojik faaliyetlerinin yaygınlaştırılması ve uygulanmasıdır. Karbon salınımı artırıcı faaliyetler ise hayvan barınaklarının iyileştirilmesi, proje kapsamında yapılan yeni metal ve beton yapılar (hane izolasyonu, ekmek fırını, sulama havuzları, sera kurulumu, çeşme, gölgelik vb.) ile çok düşük miktarda da damlama sulama faaliyetlerinin yaygınlaştırılması faaliyetleri ve uygulanmasıdır. Bu sonuçla doğal kaynak rehabilitasyonu faaliyetlerinin arttırılarak devam ettirilmesi, karbon salınımını artırıcı hayvan barınaklarının iyileştirilmesi, damla sulama, yeni yapılan beton ve metal yapıların uygulanmasında fayda-maliyet göz önünde bulundurulmalıdır (Yılmaz, 2022).

Tablo 4.5’de detaylı verildiği üzere uygulama süreleri ve kapitalizasyon süresi baz alınarak yapılan çalışmalarda tüm mikrohavzalarda karbon salınımı azaltıcı faaliyetler uygulanmıştır.

Tablo 4.5. Bingöl İli Mikrohavza Bazlı Ex-Act Kümülatif Karbon Dengesi Sonuç Tablosu (Yılmaz, 2022)

PROJE KODU	İL	MİKROHAVZA	KÜMÜLATİF KARBON DENGESİ (tCO ₂ -e)
1	BİNGÖL	LEDİZ	431920
2	BİNGÖL	GÖYNÜKÇAYI	225750
3	BİNGÖL	ÇAPAKÇUR	1230191
4	BİNGÖL	VAHKİN	1169926
5	BİNGÖL	YAMAÇ	164516
6	BİNGÖL	ARDUŞEN	219371
7	BİNGÖL	ERDEMLİ	2186
8	BİNGÖL	YEŞİLKÖY	153172
9	BİNGÖL	ÇEVİRME	341
10	BİNGÖL	GÖKÇELİ	122473
11	BİNGÖL	KURUCADAĞ	117187
12	BİNGÖL	SANCAK	72911
TOPLAM			3.909.944

Bingöl ilindeki mikrohavzaların kümülatif karbon dengesi toplamda 3.909.944 tCO₂-e olarak hesaplanmıştır. Mikrohavzalar arasında en yüksek kümülatif karbon dengesine sahip olan Çapakçur mikrohavzası 1.230.191 tCO₂-e ile dikkat çekerken, onu 1.169.926 tCO₂-e ile Vahkin mikrohavzası takip etmektedir. Bu iki mikrohavza, toplam karbon dengesinin %61.37'sini oluşturarak karbon depolama açısından stratejik bir öneme sahiptir. Öte yandan, Çevirme mikrohavzası yalnızca 341 tCO₂-e değerle en düşük kümülatif karbon dengesine sahiptir ve Erdemli mikrohavzası da 2.186 tCO₂-e ile düşük değerler arasında yer alır.

Ortalama karbon dengesi 325.829 tCO₂-e olarak hesaplanmıştır. Çapakçur, Vahkin, Lediz ve Göynükçayı mikrohavzaları bu ortalama değer üzerinde bir karbon dengesine sahiptir. Ancak Yamaç, Arduşen, Erdemli, Yeşilköy, Çevirme, Gökçeli, Kurucadağ ve Sancak mikrohavzaları bu değer altında kalarak karbon yutak kapasitelerinin geliştirilmesi

gerektiğini göstermektedir. En yüksek ve en düşük değerler arasındaki büyük fark, mikrohavzalar arasında karbon depolama potansiyeli açısından belirgin bir eşitsizlik olduğunu ortaya koymaktadır.

Bölgesel karbon yutak potansiyelini artırmak için stratejik öncelikler belirlenebilir. Çapakçur ve Vahkin gibi yüksek potansiyele sahip mikrohavzaların mevcut kapasitelerinin korunması ve geliştirilmesi önemlidir. Bunun yanı sıra Çevirme ve Erdemli gibi düşük karbon dengesine sahip mikrohavzalarda ise ağaçlandırma, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve doğal alanların restorasyonu gibi projeler önceliklendirilebilir. Bu tür müdahaleler, Bingöl ilinin genel karbon yutak kapasitesinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Aşağıda Tablo 4.6’de projeli ve projersiz durum senaryoları detaylı olarak verilmiştir. Tabloda kırmızı renkle gösterilen kısımlar karbon salınımının arttığı, yeşil renkle gösterilen kısımlar ise karbon salınımını azaldığı durumları ifade etmektedir.

Tablo 4.6. MNHRP Mikrohavza Bazlı Ex-Act Kümülatif Karbon Dengesi Projeli ve Projersiz Durum Senaryosu (Yılmaz, 2022)

PROJE KODU	İL	MİKROHAVZA	PROJESİZ DURUM tCO ₂ -e	PROJELİ DURUM tCO ₂ -e	BALANS (KÜMÜLATİF KARBON DENGESİ) tCO ₂ -e
1	MUŞ	KARAKÜTÜK	60439	-193921	-254360
2	MUŞ	DEĞİRMENDERE	36087	-397627	-433714
3	MUŞ	ALİSTAN	-688	-233028	-232340
4	MUŞ	YAYGIN	39896	-827728	-867624
5	MUŞ	KIZILAĞAÇ	23484	-474167	-497651
6	MUŞ	KOŞKAR	-669	-3084	-2415
7	MUŞ	BÜYÜKTAŞ	26136	-1127369	-1153505
8	MUŞ	KURTİK	3466	-294390	-297856
9	MUŞ	MOLLAKENT	1334	-196878	-198212
10	BİNGÖL	LEDİZ	13466	-418454	-431920
11	BİNGÖL	GÖYNÜKÇAYI	57278	-168473	-225750
12	BİNGÖL	ÇAPAKÇUR	12097	-1218094	-1230191
13	BİNGÖL	VAHKİN	42900	-1127027	-1169926
14	BİNGÖL	YAMAÇ	21122	-143395	-164516
15	BİNGÖL	ARDUŞEN	22681	-196691	-219371
16	BİNGÖL	ERDEMLİ	2183	-3	-2186
17	BİNGÖL	YEŞİLKÖY	10627	-142545	-153172

Tablo 4.6'nın devamı

18	BİNGÖL	ÇEVİRME	8361	8020	-341
19	BİNGÖL	GÖKÇELİ	7585	-114888	-122473
20	BİNGÖL	KURUCADAĞ	38226	-78960	-117187
21	BİNGÖL	SANCAK	18789	-54123	-72911
22	ELÂZİĞ	BÜYÜKÇAY	44945	-659757	-704702
23	ELÂZİĞ	KUŞHANE	27650	-71982	-99632
24	ELÂZİĞ	BÜYÜKDERE	15358	-294225	-309583
25	ELÂZİĞ	SİPİNİ	11017	-391052	-402069
26	ELÂZİĞ	KOVANCILAR	5342	-210065	-215407
27	ELÂZİĞ	HAMZABEY	12196	-1047088	-1059284
28	ELÂZİĞ	YEŞİLDERE	1150	-559156	-560306
29	ELÂZİĞ	MASTARDAĞI	10733	-1148067	-1158800
30	ELÂZİĞ	AKBULUT	817	-116069	-116886
31	ELÂZİĞ	GÖKDERE	5032	-159620	-164652
32	ELÂZİĞ	ULUOVA	1271	-1012081	-1013352
33	ELÂZİĞ	BAHÇEDERE	4545	3381	-1164
34	ELÂZİĞ	BEYHAN	12936	8239	-4968
35	ELÂZİĞ	POLAT	6121	5352	-769
36	ELÂZİĞ	OHİ DERESİ	22221	18317	-3904
TOPLAM			626134	-13036698	-13663099

Tablo 4.6 Muş, Bingöl ve Elâzığ illerindeki mikrohavzaların projeli ve projersiz durum senaryolarına göre kümülatif karbon dengesi değişimlerini karşılaştırmaktadır. Projesiz durumdaki toplam karbon salımı 626.134 tCO₂-e iken, projeli durumda bu değer -13.036.698 tCO₂-e olarak hesaplanmıştır. Balans ise toplamda -13.663.099 tCO₂-e'ye ulaşmıştır. Bu durum, projelerin karbon yutak kapasitesini artırma potansiyelini açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, mikrohavzalar arasında karbon dengesi değişiminde önemli farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

Muş ilindeki mikrohavzalardan özellikle Büyüktaş (-1.153.505 tCO₂-e), Yaygın (-867.624 tCO₂-e) ve Değirmendere (-433.714 tCO₂-e) en büyük negatif balanslara sahip olup, projelerin bu bölgelerdeki karbon yutak kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmektedir. Bingöl ilinde Çapakçur (-1.230.191 tCO₂-e) ve Vahkin (-1.169.926 tCO₂-e) mikrohavzaları

öne çıkarken, Çevirme mikrohavzası yalnızca -341 tCO₂-e ile projeden en az etkilenen bölge olmuştur. Elâzığ'da ise Master Dağı (-1.158.800 tCO₂-e) ve Büyükçay (-704.702 tCO₂-e) projelerin en etkili olduğu mikrohavzalardır. Ancak Bahçedere, Polat ve Beyhan gibi mikrohavzalarda projelerin etkisi sınırlı kalmıştır.

Bu veriler, projelerin karbon dengesine olumlu katkı sağladığını ancak her mikrohavzada aynı düzeyde etkili olmadığını göstermektedir. Özellikle karbon yutak kapasitesinin düşük olduğu bölgelerde daha yoğun ağaçlandırma, sürdürülebilir arazi yönetimi ve iyileştirme çalışmaları yapılması önerilmektedir. Bölgesel farklılıklar göz önünde bulundurularak, projelerin etkinliğini artırmak ve karbon yutak potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için yerel ihtiyaçlara özel stratejiler geliştirilmelidir.

Elâzığ, Bingöl ve Muş illerinde Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında 2013 yılından 31.12.2021 tarihine kadar yapılan faaliyetler sonucunda 20 yıllık kapitalizasyon süresi baz alındığında 13.663.099 tCO₂-e tutumu gerçekleşmiştir. Projede gerçekleştirilen yoğun ağaçlandırma, erozyon kontrolü-toprak muhafaza, rehabilitasyon ve diğer gelir getirici tarımsal faaliyet çalışmalarının yaklaşık olarak 20 yılda 13.663.099 ton CO₂'in tutulmasını ve karbon ayak izinin düşmesine önemli katkı sağladığı ortaya çıkmıştır. Bu yönüyle ağaçlandırma, toprak muhafaza, tarımsal faaliyetler vb. tüm faaliyetler CO₂ tutumunda en önemli faaliyetler olarak ön plana çıkmaktadır. Proje faaliyetleri içerisinde karbon salınımını arttırıcı en önemli faaliyetler hayvan barınaklarının iyileştirilmesi (hayvan sayısındaki artış) ve bunu takiben proje kapsamında yapılan beton ve metal yapılaşmalar, tarımsal sulama faaliyetlerinin yaygınlaştırılması gelmektedir. Proje faaliyetlerine bağlı olarak C stoklarında oluşabilecek değişimler aşağıdaki örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır (Yılmaz, 2022):

Elâzığ, Bingöl ve Muş illerindeki Proje faaliyetleri ile beraber 20 yıllık süreçte 13.663.099 tCO₂-e tutumu gerçekleştirilmiştir.

Proje faaliyetleri sonucunda; Trafiğe kayıtlı araçların %80'nin doğaya saldığı CO₂ salınımı balanse edilmiştir. 2021 Aralık ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 13 milyon 706 bin 65 adet otomobilin ise %37,6'sı dizel, %35,9'u LPG, %25,5'i benzin yakıtlı olup, %0,7'si elektrikli veya hibrittir. Yakıt türü bilinmeyen(2) otomobillerin oranı ise %0,3'tür. Benzinli ve LPG'li araçların dizel araçlara göre CO₂ salınımının daha az olduğu düşünülürse kalan %20'lik

oranında balense edildiği düşünülmektedir. Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi için karbondioksit emisyonu açısından öne çıkan hususlar aşağıda özetlenmiştir (Yılmaz, 2022):

Bu projede proje faaliyetlerinin karbon salınımına etkisi ölçülmüştür.

En önemli faaliyetler olarak Ağaçlandırma, toprak muhafaza ve erozyon kontrolü faaliyetlerinin CO₂ tutumu üzerindeki etkisi çok fazla olup bu tür faaliyetlerin devam ettirilmesi gerekmektedir.

Karbon salınımını arttırıcı faaliyetler uygulanırken diğer faaliyetlerle ortak değerlendirme yapılarak CO₂ salınımını arttırıcı faaliyetler uygulanırken iyi değerlendirme yapılmalı. Örneğin hayvan barınaklarının iyileştirilmesi, projedeki beton ve metal yapılaşmalar...(Sosyo-ekonomik fayda düşünülmeli)

Fosil yakıt ve odun tüketimini azaltan enerji tasarruflu faaliyetler arttırılarak devam ettirilmeli.

Bu tür entegre projeleri uygulamalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Bu hesaplamada proje faaliyetleri ile karbon salınımı arasında ters ilişki (negatif yönlü) olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bitki örtüsündeki azalma ile karbon yutaklarındaki düşüş arasındaki ilişki, çevreciler tarafından giderek daha fazla vurgulanan bir konu haline gelmiştir. Artan CO₂ oranları, özellikle araç kirliliği nedeniyle bitki örtülerinin karşılaştığı en büyük sorunlardan biridir. Ormanlar, araçların saldırdığı karbonları azaltmada ve karbon yutaklarının etkinliğini arttırmada önemli bir rol oynamaktadırlar. Fosil yakıt kullanımının azaltılması ve karbon miktarının maksimuma çıkarılması, bitki örtülerinin genişletilmesiyle mümkün olabilir. Bu nedenle, yeşil alanların artırılması hem çevresel hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir bir yapının oluşturulmasında kritik bir öneme sahiptir (Akkuş, 2014).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamında yer alan Çapakçur Mikro Havzası'nda gerçekleştirilen iklim, toprak, bitki örtüsü, su kaynakları ve erozyon gibi doğal kaynakların durumu ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiş ve proje kapsamında uygulanan çeşitli rehabilitasyon tedbirlerinin etkinlikleri analiz edilmiştir. Çalışma, bölgedeki çevresel sorunları belirlemeye ve bu sorunlara yönelik çözüm önerileri geliştirmeye odaklanmıştır. Ayrıca, iklim değişikliğinin bölgedeki ekosistemler üzerindeki etkileri de incelenmiş ve bu doğrultuda alınması gereken önlemler ortaya konulmuştur.

Çapakçur Mikro Havzası, Doğu Anadolu Bölgesi'nin tipik iklim koşullarından etkilenmekte olup, yaz aylarında yüksek sıcaklık ve kuraklık, kış aylarında ise düşük sıcaklıklar ve kar yağışı gibi zorlu koşullara sahiptir. Bu iklimsel özellikler, havzanın doğal kaynaklarının verimli kullanımı ve korunmasında önemli engeller teşkil etmektedir. Ancak, bölgeye özgü iklimsel koşulların dikkate alınarak gerçekleştirilen rehabilitasyon projeleri, önemli başarılar elde edilmesini sağlamıştır.

Arazi çalışmalarında, Çapakçur Mikro Havzası'nın büyük bir kısmında eğim oranının yüksek olduğu ve erozyon riskinin oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, toprak kaybının hızlanmasına ve toprağın verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Rehabilitasyon projeleri kapsamında, toprak koruma tedbirleri (terraslama, bitki örtüsü ile toprağın örtülmesi vb.) etkin bir şekilde uygulanmış ve erozyonun önlenmesi sağlanmıştır. Bu tedbirler, toprağın karbon tutma kapasitesini artırarak, havzanın ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliğini desteklemiştir.

Erozyon tedbirlerinin başarıyla uygulanması, bölgedeki toprak kaybını minimize etmiş ve su tutma kapasitesini artırmıştır. Bu tedbirlerin bir diğer önemli katkısı, havzanın biyolojik çeşitliliğini artırması olmuştur. Çünkü erozyonun azaltılması, bitki örtüsünün sağlıklı bir şekilde gelişmesini desteklemiş ve bu da ekosistemin genel sağlığını iyileştirmiştir. Ancak, bu tedbirlerin kalıcı etkilerinin sağlanabilmesi için, uzun vadeli izleme ve bakım çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Çapakçur Mikro Havzası'nda su kaynakları, özellikle yaz aylarında önemli bir sıkıntı oluşturmaktadır. Havzadaki su kaynaklarının verimli kullanımı, sulama ve içme suyu temini gibi amaçlarla kritik öneme sahiptir. Yağışların büyük kısmı kış ve ilkbahar aylarında düştüğünden, yazın su seviyeleri düşük olmaktadır. Bu da yerel tarım ve hayvancılık faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir.

Su yönetimi alanında yapılan iyileştirmeler, özellikle sulama yöntemlerinde yapılan modernizasyonlar ve su toplama havuzlarının inşası ile suyun daha verimli kullanılması sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, su kaynaklarının korunması ve suyun doğru kullanımı konusunda yerel halka yönelik eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar, suyun verimli kullanımı açısından önemli bir adım olmuştur. Gelecek yıllarda, bu tür projelerin daha da yaygınlaştırılması, havzadaki su yönetiminin daha sürdürülebilir olmasını sağlayacaktır.

Bölgedeki karbon tutumu potansiyeli, rehabilitasyon çalışmalarının en kritik yönlerinden biri olmuştur. Özellikle ormanlık alanlarda yapılan ağaçlandırma ve bitkilendirme çalışmaları, havzanın karbon depolama kapasitesini artırmıştır. Bununla birlikte, güneş enerjisinin kullanımı ve ev izolasyon sistemleri gibi ekolojik çözümler, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon salınımını engellemiştir.

Bölgenin iklim koşulları göz önünde bulundurulduğunda, yazın su buharlaşma hızının yüksek olması ve kışın soğuk geçmesi, havzanın karbon tutumu açısından önemli zorluklar oluşturmaktadır. Bu bağlamda, proje kapsamında, güneş enerjisinin yaygınlaştırılması ve evlerin izolasyonu gibi çalışmalar, bölgedeki karbon salınımını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, ısınma amacıyla kullanılan odun ve kömür tüketiminin azalması, ormanların korunmasına yardımcı olmuştur. Bu sayede, havzanın karbon depolama potansiyeli artırılmış ve çevresel etkiler en aza indirilmiştir.

Çapakçur Mikro Havzası'ndaki biyoçeşitlilik, özellikle erozyon ve aşırı otlatma nedeniyle azalmaktadır. Meraların aşırı otlatılmasının yanı sıra, yerel halkın geleneksel tarım yöntemleri ve ormanların kaçak kesimi de biyoçeşitliliği tehdit etmektedir. Proje kapsamında, meraların sürdürülebilir otlatma yöntemleri ile korunması, toprak işleme tekniklerinin iyileştirilmesi ve ormanların korunmasına yönelik tedbirler alınmıştır. Bu

alışmalar, havzanın biyoçeşitliliğini koruma konusunda önemli adımlar atılmasına olanak sağlamıştır.

Meraların korunması için yapılan çalışmalar, sadece biyoçeşitliliği artırmakla kalmamış, aynı zamanda bölgedeki toprağın organik karbon depolama kapasitesini de artırmıştır. Ayrıca, ormanlık alanların korunması ve kaçak odun kesiminin önlenmesi, doğal ekosistemlerin sağlıklı bir şekilde işleyişini sürdürmesine katkı sağlamıştır.

apakur Mikro Havzası'nda gerçekleştirilen rehabilitasyon faaliyetlerinin iklim değişikliğiyle mücadeleye katkısı değerlendirildiğinde, bu uygulamaların bölge açısından oldukça olumlu sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Özellikle ağaçlandırma, erozyonla mücadele ve enerji verimliliği gibi uygulamaların, sera gazı emisyonlarını azaltma yönünde etkili olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi kullanımı ve konutlarda uygulanan izolasyon sistemleri sayesinde fosil yakıt kullanımında önemli azalmalar sağlanmış, bu da atmosfere salınan karbon miktarını doğrudan etkilemiştir. Söz konusu faaliyetler, havzanın iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırmış ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamıştır.

Proje kapsamında yapılan arazi düzenlemeleri, bitkilendirme çalışmaları ve orman rehabilitasyonu sayesinde havzanın karbon yutak kapasitesinde gözle görülür bir artış yaşanmıştır. Toprakta ve bitkisel örtüde karbon depolanması hedeflenmiş, özellikle güney yamaçlarda ayrışma hızının yüksek olması nedeniyle bu alanlara özel dikkat gösterilmiştir. Meraların korunması, ormanların genişletilmesi ve toprağın organik madde bakımından zenginleştirilmesiyle birlikte, atmosferik karbonun doğal yollarla tutulması desteklenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, bölgenin karbon dengesini olumlu yönde etkilemiş ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir kazanım olarak değerlendirilmiştir.

Havzada uygulanan erozyon kontrol tedbirleri, toprağın yerinde tutulmasını sağlamış ve arazi bozulmasını belirgin şekilde azaltmıştır. Teraslama, çitlerle çevreleme, bitkisel örtü oluşturma ve su akışını kontrol altına alma gibi önlemler sayesinde, toprak kaybı ciddi oranda engellenmiştir. Eğimli arazilerin yoğun olduğu bölgede bu tedbirlerin uygulanması, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini koruyarak verimliliğini artırmıştır. Aynı zamanda bu uygulamalar, toprağın karbon tutma kapasitesine de olumlu katkı

sağlamış hem üretim alanlarının korunması hem de çevresel faydaların sağlanması mümkün kılınmıştır.

Proje kapsamında yapılan değerlendirmeler, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine de katkı sağlandığını ortaya koymuştur. Gerek yüzeysel akışların kontrolü gerekse yağmur suyu hasadı gibi uygulamalarla, suyun toprakta tutulması ve yaz kuraklığı dönemlerinde kullanılabilirliğinin artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, modern sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması ile suyun daha etkin ve verimli kullanımı teşvik edilmiştir. Bu çalışmalar, yer üstü ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesini önleyerek, bölgenin su güvenliğini artırmış ve ekosistem sağlığına olumlu katkı sağlamıştır.

Çapakçur Mikro Havzası'nda yapılan uygulamalar, bölgedeki biyoçeşitliliğin korunmasına ve geliştirilmesine de destek olmuştur. Meraların aşırı ve kontrolsüz otlatılmasının önlenmesi, ormanların yeniden yapılandırılması ve amaç dışı arazi kullanımının sınırlandırılması sayesinde, yerel flora ve fauna üzerindeki baskılar azaltılmıştır. Bu süreçte yerel halkın bilinçlendirilmesi ve geleneksel tarım yöntemlerinden daha sürdürülebilir uygulamalara yönlendirilmesi de önemli rol oynamıştır. Ayrıca, bitkisel çeşitliliğin artırılmasıyla birlikte, ekosistem hizmetlerinin güçlendiği ve doğal dengenin yeniden tesis edildiği tespit edilmiştir.

Çapakçur Mikro Havzası'nda yapılan çalışmaların iklim değişikliği ile mücadeleye katkısının değerlendirilmesi neticesinde; ilk olarak ağaçlandırma, erozyon kontrolü ve mera ıslahı gibi uygulamaların toprak organik karbonunun korunmasına ve artırılmasına hizmet ettiği görülmüştür. Bu uygulamalar, havzada toprak kaybını önleyerek karbonun yüzey toprakta muhafaza edilmesine katkı sunmuş; aynı zamanda bitkisel biyokütle artışı sayesinde atmosferik karbonun tutulmasını desteklemiştir.

İkinci olarak proje kapsamında uygulanan faaliyetlerin karbon yutak alanlarını nasıl etkilediği sorusuna verilen yanıtlar doğrultusunda, özellikle güney yamaçlarda yapılan ağaçlandırma ve toprak muhafaza çalışmalarının önemli bir fark oluşturduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, mera alanlarında aşırı otlatmanın kontrol altına alınması ve bitki örtüsünün yeniden yapılandırılması sayesinde biyoçeşitlilik artmış, bu da hem ekosistem dayanıklılığını hem de karbon depolama kapasitesini artırmıştır.

Üçüncü olarak, mikro havza ölçeğinde gerçekleştirilen uygulamaların yerel iklim üzerindeki potansiyel etkilerine yönelik analizlerde, toprakta tutulan su miktarının artması, vejetatif örtünün gelişmesi ve toprak yüzey sıcaklıklarının dengelenmesi gibi olumlu etkiler saptanmıştır. Bu durum hem mikroiklimin düzenlenmesine katkı sağlamış hem de iklim değişikliğine karşı daha dirençli bir doğal çevrenin oluşumuna zemin hazırlamıştır.

Dördüncü olarak, enerji kullanım alışkanlıklarında meydana gelen değişimlerin incelendiği bölümde, güneş enerjisinden faydalanma oranının artması ve konutlarda yapılan yalıtım uygulamalarının yakıt tüketimini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, odun ve kömür gibi fosil yakıtların kullanımını sınırlandırarak hem hava kalitesine katkı sunmuş hem de ormanların korunmasını sağlamıştır. Kaçak ağaç kesimlerinin azalması, rehabilitasyon süreçlerinin başarısını desteklemiştir.

Beşinci araştırma sorusu olan proje faaliyetlerinin kırsal refah ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri ise hem ekolojik hem sosyoekonomik göstergeler üzerinden değerlendirilmiştir. Proje sayesinde verimliliği artan tarım ve hayvancılık faaliyetleri, yerel halkın geçim kaynaklarını güçlendirmiş; yalıtım ve yenilenebilir enerji yatırımları ise yaşam konforunu artırarak enerji yoksulluğunun azaltılmasına katkıda bulunmuştur. Bu şekildeki bulgular, doğa temelli çözümlerin sadece çevresel değil, aynı zamanda toplumsal fayda ürettiğini göstermektedir.

Çapakçur Mikro Havzası'nda karşılaşılan temel çevresel sorunlardan biri olan su kıtlığı ve toprak kaybı, gelecekteki rehabilitasyon projeleri için de önemli bir odak noktası olmalıdır. Bu bağlamda, modern sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, su toplama havuzlarının artırılması ve yerel halkın su tasarrufu konusunda bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Aynı şekilde, erozyonun önlenmesi amacıyla uygulanan toprak koruma yöntemlerinin, özellikle teraslama ve bitkilendirme uygulamalarının diğer mikro havzalarda da teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu uygulamalar hem doğal kaynakların korunmasına hem de karbon yutak kapasitesinin artmasına katkı sağlayacaktır.

Biyoçeşitliliğin korunması ve artırılması, sürdürülebilir bir çevre yönetiminin temel unsurlarındandır. Mera ve ormanlık alanların korunması, sadece hayvan otlatma veya ağaç kesimi açısından değil, aynı zamanda mikro iklimin dengelenmesi ve karbon emiliminin devamlılığı için de yaşamsaldır. Bu nedenle, biyoçeşitlilik konusunda halkın

bilinçlendirilmesi, ekosistem temelli üretim modellerinin desteklenmesi ve tarım faaliyetlerinin çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu hale getirilmesi önerilmektedir.

Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hem çevresel etkilerin azaltılması hem de yerel halkın enerjiye erişiminin artırılması açısından önem taşımaktadır. Özellikle kırsal konutlarda güneş paneli sistemlerinin yaygınlaştırılması ve enerji verimliliğini artıracak yalıtım uygulamalarının devlet destekli programlarla teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu uygulamalar, bölgedeki karbon salımını azaltmanın yanında, yaşam konforunu da artırarak toplumsal kabulü güçlendirecektir.

Projelerin başarısı yalnızca uygulama aşamasıyla sınırlı değildir; uzun vadeli sürdürülebilirlik için düzenli izleme, değerlendirme ve güncelleme faaliyetleri gereklidir. Bu doğrultuda, yerel kurumlar ve üniversiteler arasında iş birliği kurularak proje sonrası izleme sistemlerinin oluşturulması önerilmektedir. Ayrıca, bölge halkının mera yönetimi, ormanların korunması, enerji tasarrufu ve doğal kaynakların kullanımı konularında eğitim alması, projelerin kalıcılığını ve yaygın etkisini artıracaktır.

Çapakçur Mikro Havzası'nda uygulanan ve olumlu sonuçlar doğuran rehabilitasyon çalışmaları, benzer sorunlara sahip diğer mikro havzalar için örnek teşkil etmektedir. Bu nedenle, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi kapsamındaki bu deneyim, devlet destekli projeler aracılığıyla farklı bölgelere yaygınlaştırılmalı ve ülke genelindeki karbon nötr hedefleriyle entegre edilmelidir. Böylece hem çevresel sürdürülebilirlik sağlanacak hem de kırsal kalkınma desteklenmiş olacaktır.

Sonuç olarak, Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi'nin Çapakçur Mikro Havzası'ndaki etkinlikleri, bölgedeki doğal kaynakların korunmasına ve iyileştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Ancak, sürdürülebilir bir çevre yönetimi için bu tür projelerin sürekli izlenmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD. (2021). İRAP hazırlama kılavuzu, T.C. Şanlıurfa Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Şanlıurfa, s. 169.

Akbin, A. N. (1994). İzmit Yöresindeki Bazı Karaçam Ormanlarında Toprakların Kimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akkuş, F. G. (2014). Kentsel Yol Ağaçlarının Karbon Tutma Değerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alberti, G., Candido, P., Peressotti, A., Turco, S., Piuss, P., and Zerbi, G. (2005). Aboveground Biomass Relationships for Mixed Ash (*Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus glabra* Hudson) Stands in Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy). *Ann. Forestry Science*, (62), 831-836.

Anonim. (2014). Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi. Erişim tarihi. 01.01. 2019. <https://muratnehrihavzasi.ogm.gov.tr/>

Anonim. (2016). Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi Çapakçur Mikro havza Planı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 184.

Asan, Ü. (1999). Climate change, carbon sinks and the forests of Turkey. In: Proceedings of the International Conference on Tropical Forests and Climate Change: Status, Issues and Challenges (TFCC '98), *Philippines*, 157-170.

Avci, V., Esen, F. ve Kıranşan, K. (2018). Bingöl ilinin fiziki coğrafya özellikleri. *Bingöl Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 9-40.

Ayaz, M. E. (2003). Hacıali ve Karayün (Sivas) çevresinin jeolojisi ve doğal karbondioksit potansiyeli. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(4), 523-538.

Aydın, V. (1996). Elmalı Baraj Havzasında Kızılçam (*Pinus brutia* Ten) Ormanının Toprak Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Babuş, D. (2005). Küresel Isınma Sorununun Uluslararası Çevre Politikası İçerisinde İrdelenmesi ve Türkiye'nin Yeri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Başaran, M. (2004). Türkiye'nin organik karbon stoğu. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(3-4), 31-36.

Bedil, M. B. (2016). Bingöl İli Çapakçur Mikro Havzasındaki Çapakçur Deresinin Fiziko Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Botkin, D. B. and Keller, E. A. (1998). Environmental Science, Earth as a Living Planet, 2nd ed., John Wiley and Sons, Canada.

Büyüktürkmen, B. (2021). Rekreasyon Alanlarının Karbon Tutma Değerinin Belirlenmesi: Kılavuzlu Parkı ve Mesire Alanı Örneği-Kahramanmaraş, Yüksek Lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.

Cevizci, F. (2019). Bir Yeşil Alan Modeli Olarak Zemin Altı Otoparkların Karbon Ayak İzini Düşürücü Etkisi İle Kent Sürdürülebilirliğine Katkısı, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

Cline, W. R. (1992). The Economics of Global Warming. Institute for International Economic, Peterson Institute, Washington, A.B.D.

Spence, C. (2007). *Küresel Isınma* (Çeviren: Selin Gönen, Serkan Agar), Pegasus Yayınları, İstanbul.

Çelik, N. (2006). Sündiken Dağları Kütlesinin Yetiştirme Ortamı Özellikleri ve Sınıflandırılması, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÇEM. (2018a). Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet, ÇEM Yayınları, Ankara.

Çepel, N. (1978). Orman ekolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 2479, O. F. Yayın No: 257, İstanbul.

Çetinkaya, A. ve Yıldız, E. (2015). Havza yönetimi ve iklim değişikliği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(4), 254-263.

Çılgın, Y. G. (2006). Türkiye'de Küresel Isınmaya Yol Açan Sera Gazı Emisyonlarındaki Artış İle Mücadelede İktisadi Araçların Rolü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÇŞİDB. (2020). Bingöl ili 2019 yılı çevre durum raporu, ÇED ve Çevre Hizmetleri Şube Müdürlüğü, Bingöl. <https://cem.csb.gov.tr>.

Delang, C. O., and Hang, Y. Y. (2009). Remote Sensing-Based Estimation of Carbon Sequestration in Hong Kong Country Parks from 1978 to 2004. Department of Geography and Resource Management, The Chinese University of Hong Kong, Shatin, NT, Hong Kong, pp. 97-115.

Demir, A. D., and Demir, Y. (2016). Effect of flow and sediment concentration on some water quality parameters in Murat River, International Engineering, Science and Education Conference (INESEC), pp. 118-121, Diyarbakır.

Demir, M. (2021). Çapakçur Mikro Havzası'nda yürütülen rehabilitasyon projelerinin etkileri. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 7(1), 43-55.

Dixon, R. K., Nair, R., Nair, V., Kumar, B. M., and Showalter, J. M. (1994). Carbon sequestration in forests and agroecosystems. *Environmental Management*, 19(1), 1-6.

Duran, A. (1991). Reşadiye (Datça) Yarımadası'nda Ofiolit Anakayasından Oluşmuş Toprakların Özelliklerinin Yeryüzü Şekli ve Bitki Örtüsüne Göre Değişimi Üzerine İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Durkay, A., Durkaya, B., and Atmaca, S. (2010a). Predicting The Above-ground Biomass of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in Turkey. *Energ Source- Part A*, (32), 485-499.

Durkaya, A., Durkaya, B., and Çakıl, E. (2010b). Predicting The Above-Ground Biomass of Crimean Pine (*Pinus nigra*) Stands in Turkey. *J. Environ. Biology*, (31), 115-118.

Durkaya, A., Durkaya B., and Ünsal, A. (2009). Predicting The Above-Ground Biomass of Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8(11), 2483-2488.

Durkaya, B., Durkaya, A. ve Macaroğlu, K. (2012). Bartın Yöresi karışık meşcerelerinin biyokütle stok değişimlerinin irdelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, (21), 28-36.

Durkaya, B., Bekci, B. ve Varol, T. (2016). Bartın kent ormanının karbon tutma, oksijen üretimi ve rekreasyonel açıdan değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1), 111-119.

Erdoğan, A. (2009). Kayseri Kenti Yol Ağaçlarının Estetik Ve Fonksiyonel Yönden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdoğan, S. ve Demirci, E. (2019). Murat Nehri Havzası rehabilitasyon projeleri ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri. *Sürdürülebilir Çevre Dergisi*, 6(3), 134-148.

Eşbah, H. O. (2023). Kentsel Karbon Emisyonlarının ve Karbon Yutak Alanlarının Mekânsal Analizi: Bursa Yıldırım İlçesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Farrell, E. P., Ryan, D., Führer, E., Andersson F., Hüttl R., and Piuss, P. (2000). European Forest Ecosystems: Building The Future On The Legacy Of The Past. *Forest Ecology And Management*, (132), 5-20.

Ganuza, A., and Almendros, G. (2003). Organic Carbon Storage İn Soils of The Basque Country (Spain): The Effects of Climate, Vegetation Type, and Edaphic Variables. *Biol Fertil Soils*, 37, 154-162.

Gowe, S. T, Krankina, O., Olson, R. J., Apps, M., Linder, and S., Wang, C. (2001). Net Primary Production and Carbon Allocation Patterns of Boreal Forest Ecosystems. *Ecol Appl*, (11), 1395-1411.

Göksu, Ç. (2008). *Küresel Isınma ve Türkiye'nin Güneş Projeleri*, Güncel Yayıncılık.

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W., et al. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645-11650.

Güner, T. (2020). Havza rehabilitasyonu uygulamalarının yerel ekosistemlere etkileri. *Ekosistem Yönetimi Dergisi*, 15(2), 200-212.

Hertsgaard, M. (2001). *Yeryüzü Gezgini, Çevresel Geleceğimizin Peşinde Dünya Turu*. Tema Yayın No: 34, İstanbul.

Hu, H., and Wang, G. G. (2008). Changes in Forest Biomass Carbonstorage in The South Carolina Piedmont Between 1936 and 2005, *Forest Ecology and Management*, (255), 1400–1408.

Hua, F., Wang, X., Zheng, X., Balıkcı, B., Wang, L., Zhu, J., Tang, Y. et al. (2016). Opportunities for biodiversity gains under the world's largest reforestation programme. *Nature Communications*, (7), 1-11.

Hunter, J. W. (2003). İklim Özen Göstermek. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Ve Kyoto Protokolü için Kılavuz. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı ve Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

IPCC. (2021). "Climate Change 2021: The Physical Science Basis." Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Irmak, A. (1970). *Orman Ekolojisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 1650, O. F. Yayın No: 149, İstanbul.

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K., and Byrne, K. A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?. *Geoderma*, (137), 253–268.

Janzen, H. (2004). Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective *Agric. Ecosyst. Environ*, (104), 399-417.

Kadioğlu, M. (2001). *Bildiğimiz Havaların Sonu. Küresel İklim Değişimi ve Türkiye*. Güncel Yayıncılık, No:110, İstanbul.

Kambak, A. (1996). Elmalı Baraj Havzasında Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.) Ormanlarının Toprak Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kantarcı, M. D. (1979). Kuzey Trakya dağlık orman yetiştirme bölgesinin yöresel sınıflandırması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 42-71.

Kantarcı, M. D. (1983). Kerpe Tur-71/521 ağaçlandırma alanında uygulanan arazi hazırlığı ve toprak işlemesi yöntemlerinin toprak özellikleri ve sahil çamı fidanlarının gelişimi üzerine etkileri. *İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi Seri A*, 33(2), 104-140.

Kantarcı, M. D. (2000). *Toprak Bilimi*. ISBN 975-404-588-7 İstanbul.

Kantarcı, M. D. (1997) Study on agriculture and forest products processing and using the water of Ergene River's drainage water for it; the sources of drainage water. Proceedings of the Symposium on Industrialization and Environment in Trakya II, Chamber of Mechanical Engineers, November 6-8, 1997, Edirne, Turkey p. 95-111.

Kara, Ö. (2002). Kuzey Trakya Dağlık Yetiştirme Ortamı Bölgesinde Kayın, Meşe, Karaçam Ormanlarındaki Toprak Mikrofunguslarının Mevsimsel Değişimi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karagöz, M. Ö. (1998). Belgrad Ormanı'nda Bazı İğne Yapraklı ve Geniş Yapraklı Orman Ekosistemlerinin Önemli Edafik Özellikleri ile Bitkisel Kütle Karakteristikleri Bakımından Karşılaştırılması, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karakan, B. (1996). Gelibolu Yarımadası'nda Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.) Ağaçlandırma Alanlarında Toprak Özellikleri ve Boylanmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karatepe, Y. (2004). Gölcük (Isparta)'te karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe) meşcerelerinin topraklarındaki toplam azot ve organik karbon ile ölü örtülerindeki toplam azot ve organik madde miktarlarının araştırılması. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A2, 1-16.

Kaya, F. (2018). Çapakçur Mikro Havzası'nın ekosistem dengesinin bozulması. *Havza Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 15-29.

Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T., and Potvin, C. (2003). Carbon Storage of Harvestage Teak (*Tectonia grandis*) Plantations. *Forest Ecology and Management*, (173), 213-225.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, (304), 1623-1627.

Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220(3), 242–258.

Liverani, M. (1995). Neo-Assyrian geography, Roma, Università di Roma Dipartimento di scienze storiche archeologiche e antropologiche dell'Antichità, Roma.

Moraes, J. F. L., Seyler, F., Cerri, C., and Volkoff, B. (1996). Land Cover Mapping and Carbon Pools Estimates in Rondonia/Brazil, Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 533-539.

Myeong, S., Nowak, D. J., and Duggin, M. J. (2006). A Temporal Analysis of Urban Forest Carbon Storage Using Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, (101), 277–282.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2022). Aralık 4, 2022, Retrieved March 21, 2001, from <https://oceanservice.noaa.gov/facts/carbon-cycle.html#transcript>.

Nowak, D., Hoehn, R., and Crane, D. (2007). Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(3), 220–226.

OGM. (2020a). Orman Genel Müdürlüğü 2019 yılı idare faaliyet raporu, OGM Yayınları, Ankara.

Olsson, L., and Barbosa, H. (2022). Climate Change and Land, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, <https://www.ipcc.ch/srccl/download/>

Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017). Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi (2013-2019) Bingöl/Elâzığ/Muş, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Raporu, Ağustos 2017, <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Belgeler/yay%C4%B1nlar/yay%C4%B1nlar%202017/MURATHAVZASI%2022X22%20TR%20080817%20BASKI.pdf>.

Ölçücüoğlu, L. (1997). Gelibolu Yarımadası'nda Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırma Alanlarında Toprak Özellikleri ve Boylanmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkan, K. (2003). Beyşehir Gölü Havzasının Yetiştirme Ortamı Özellikleri ve Sınıflandırılması, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Pan, Y., Birdsey, A. R., Fang, J., Houghton, A. R., Kauppi, P., Kurz, W. A., Phillips, O. L. et al. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.

Pehlivan-Yetiş, Ş. (2022). Murat Nehri Havzasında Ormanların Bazı Ekosistem Hizmetleri Değerlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Saraçoğlu, N. (1988). Kızılağaç Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Spence, C. (2007). *Küresel Isınma* (Çeviren: Selin Gönen, Serkan Agar), Pegasus Yayınları, İstanbul.

Sun, O., Uğurlu, S. ve Özer, E. (1980). Kızılçam (*Pinus brutia* ten.) ait biyolojik kütlenin saptanması Ormancılık Araştırma Enstitüsü, 104, 1-36.

Şahin, Ü., Tör, O. B., Kat, B., Teimourzadeh, S., Demirkol, K., Künar, A. ve Yeldan, E. (2021). Türkiye'nin karbonsuzlaşma yol haritası: 2050'de net sıfır. Istanbul Policy Center.

Şaylan, L. (2007). Ekosistemin CO₂ Değişiminin Belirlenmesi, 1. Türkiye İklim Değişimi Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 11-13 Nisan 2007.

Şaylan, L. ve Çaldağ, B. (2007). İklim değişiklikleri ve kuraklık, Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 22 Mart 2007, Tekirdağ, 14-23.

Tolunay, A. ve 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*, (35), 265-27.

Tolunay, D. ve Çömez, A. (2008). Türkiye Ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, 22-25 Ekim, Hatay.

Tolunay, D. ve Çömez, A. (2007). Orman topraklarında karbon depolanması ve Türkiye'deki durum. Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu, s. 97-108, İstanbul.

TÜİK, (2023). Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2021, National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Türkiye 2023 National Inventory Report (NIR), 14 Nisan 2023.

Uğurlu, S., Araslı, B. ve Sun, O. (1976). Stebe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde biyolojik kütlenin saptanması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi.

Vasilyev, P. V. (1971). Facing new problems of forestry intensification. *Lesnoe Khoziaistvo*, 1, 18-24.

Wayburn, L. A., Franklin, F. J., Gordon, J. C., Binkley, C. S., Mladenoff, D. J., and Wikipedia, (2020). Karbon, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon>, Erişim Tarihi: 08.01.2020.

Yang, K., and Guan, D. (2008). Changes in Forest Biomass Carbon Stock in The Pearl River Delta Between 1989 and 2003, *Journal of Environmental Sciences*, (20), 1439–1444.

Yıldırım, E. (2019), Elâzığ Büyükçay Mikrohavzasının Karbon Tutulumunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, H. (2006a). Erzurum-Uzundere Karayolu Çevrelerinde Doğal Olarak Yetişen Bitkilerin Estetik ve Fonksiyonel Yönden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, E. (2006b). Yukarı Seyhan Havzası Katran Çukuru Mevkiindeki Bazı Orman Meşcerelerinin Verimliliği İle Karbon Tutma Kapasitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, M. (2022). Murat Nehri Havzası Rehabilitasyon Projesi Kapsamında Uygulanan Faaliyetlerin Karbon Döngüsüne Etkisinin Hesaplanması, Orman Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu, Ankara.

Yüksel, A., Meral, A., Demir, Y. ve Eroğlu, E. (2020). Çapakçur Mikro Havzası'nda (Bingöl) mikro havza ölçekli peyzaj değerlendirmesi. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(1), 16-26. <https://doi.org/10.30910/turkjans.679893>