

T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CBS VE UZ-AL DESTEĞİ İLE CO₂ EMİSYONUNUN
AZALTILMASI İÇİN ENERJİ ORMANCILIĞI
ALANLARININ BELİRLENMESİ VE İKLİM
DEĞİŞİKLİĞİNİN ENERJİ ORMANCILIĞINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Fulya KANDEMİR

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı
Enerji Teknolojisi Doktora Programı

İZMİR

2020

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “CBS ve UZ-AL Desteği ile CO₂ Emisyonunun Azaltılması için Enerji Ormancılığı Alanlarının Belirlenmesi ve İklim Değişikliğinin Enerji Ormancılığına Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

24 / 12 / 2020

Fulya KANDEMİR

ÖZET**CBS VE UZ-AL DESTEĞİ İLE CO₂ EMİSYONUNUN
AZALTILMASI İÇİN ENERJİ ORMANCILIĞI ALANLARININ
BELİRLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ENERJİ
ORMANCILIĞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

KANDEMİR, Fulya

Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ

Aralık 2020, 236 sayfa

Enerji ormancılığı, katı, sıvı ve gaz yakıt üretiminde kullanılacak, enerji hammaddesi ağaçların yetiştirilmesine yönelik tüm işlemleri ve planlamaları kapsamaktadır. Kısa çevrimli ve hızlı büyüyen ağaçların yetiştirilmesi ile gerçekleştirilen enerji ormancılığı sonucunda, fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazı salımının azaltılmasının yanı sıra, ulusal enerji arz güvenliğinin öz kaynaklar ile korunması da sağlanmaktadır. Enerji ormancılığı uygulamaları, ormanlaştırma konusuna dahil olduğundan aynı zamanda önemli bir karbon yutağı oluşturmaktadır. Bu potansiyelin farkına varacak şekilde, enerji ormancılığı uygulamasını konumsal olarak planlanmak ise karmaşık bir iştir. Enerji ormancılığı gibi uygulamaların gerçekleştirilebileceği ve çok yönlü kullanıma sahip orman plantasyonlarının kurulması Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı karar destek sistemleri ve uzaktan algılama gibi mekansal bilgi teknolojilerinin entegrasyonunu gerektirmektedir.

Bu çalışmada, *R. pseudoacacia*, *P. aculeata*, *A. altissima*, *L. leucocephala*, *M. azedarach* ve *P. euphratica* ağaçlarının esas alındığı kapsamlı bir model geliştirilerek enerji ormancılığı yapılabilecek alanların CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (CBS-ÇKKA) yöntemi ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma esas olarak; (1) model ağaçların yetiştiriciliğine yönelik kriterlerin (toprak pH, kum içeriği, kil içeriği, derinlik, yükselti, eğim, bakı, sıcaklık ve yağış verileri) belirlenmesi, (2) konumsal veritabanı geliştirme, (3) kriterlerin standardize edilmesi, (4) kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve (5) CBS-ÇKKA modelinde ağırlıklı lineer karşılaştırma ile enerji ormancılığı için uygun alanların tespit edilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Standardizasyon aşamasında toprak ve topoğrafya verileri için fuzzy tekniği kullanılırken; iklim verileri ise bitkinin ekolojik

özelliklerinin de entegre edildiği Bitki İklim Uygunluk Modeli (BİUM) ile standardize edilmiştir. Uzman görüşlerine dayalı olarak gerçekleştirilen faktör ağırlıklandırma aşamasında ise Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılmış ve hem günümüze hem de gelecek periyoduna (2050) göre enerji ormancılığı alansal uygunluk haritaları elde edilmiştir. Gelecek periyodunda, enerji ormancılığının sıcaklık ve yağış değişikliklerinden nasıl etkileneceğinin tespit edilmesinde ise BİUM’a, gelecek iklim koşullarına (HADGEM2-ES RCP4.5) ait projeksiyon veriler entegre edilmiştir.

Tez çalışmasında, ele alınan türler ile ilgili alansal uygunlukların elde edilmesinin yanı sıra, yetiştiricilik yapılacak plantasyonlarda ve çevresinde bitki hareketliliğinin ve dolayısı ile tür mücadelelerinin kontrol edilmesine yönelik kapsamlı incelemeler ile birlikte bu ağaçların enerji hammaddesi dışında çok amaçlı kullanım şekilleri de sunulmaktadır. Enerji ormancılığı kavramı altında karbon yutak potansiyellerinin de detaylı bir şekilde analiz edildiği çalışmada, uygun alanlara ait karbon yutak potansiyellerinin günümüz enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonları ile birlikte değerlendirilmesi ile orman plantasyonlarının günümüzden gelecek periyoda kadar uzanan CO₂ azaltım oranları tespit edilmiştir.

Gerek literatür taraması gerekse analizlerin gerçekleştirilmesi sırasında, önceki çalışmalardan ayrılan tez çalışması, günümüzde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ salımlarının en az %70’inin 2020 yılından itibaren; %97’sinin ise 2030 yılında tutma imkanının bulunduğunu geliştirilen model ile ortaya koymaktadır. Tüm bu nitelikleri ile tez çalışmasının çarpıcı bulguları, Birleşmiş Milletler tarafından ülkelere önerilen “niyet edilen ulusal katkı beyanları”na, “enerji planlamalarına” ve “sera gazı azaltım politikalarına” dahil edilebilecek niteliktedir. Yapılan bu çalışma birçok sektör ve alanda getirilerinin olacağı ulusal çapta bir yol haritası oluşturmaktadır. Tezin motivasyonu, iklim değişikliği ile mücadele ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması konularında, ülkemizin yenilebilir enerji potansiyelinin artırılması ve CO₂ emisyonlarının azaltılması için sürdürülebilir enerji ormancılığına yönelik pratik ve faydalı bir model geliştirilmesidir. Tez çalışmasının sonuçları bahsedilen tüm bu hususlar ışığında gelecekteki planlamalara ve bilimsel çalışmalara yol gösterici bir nitelik taşımaktadır.

Anahtar sözcükler: enerji ormancılığı, coğrafi bilgi sistemleri, çok kriterli karar analizi, analitik hiyerarşi prosesi, IPCC, iklim değişikliği, REDD, ormanlaştırma, niyet edilen ulusal katkı beyanı, karbon yutağı, RCP 4.5, Türkiye

ABSTRACT**GIS AND RS-SUPPORTED ASSESSMENT OF ENERGY
FORESTRY AREAS FOR MITIGATION OF CO₂ EMISSIONS AND
EVALUATION OF THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON
ENERGY FORESTRY**

KANDEMİR Fulya

Ph.D. in Solar Energy

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hasan SARPTAŞ

December 2020, 236 pages

Energy forestry includes all processes and planning to cultivate trees that can be used in solid, liquid, and gas fuel production. By energy forestry, which is carried out by growing fast-growing non-edible plants, national energy supply security is protected by native resources and reduces greenhouse gas emissions from fossil fuels. Since energy forestry practices are also included in afforestation, they also constitute an essential carbon sink. Realizing this potential, it is a complex task to spatially plan energy forestry implementation. The establishment of multi-use forest plantations requires integrating spatial information technologies such as Geographic Information Systems (GIS) based decision support mechanisms and remote sensing.

In this study, a comprehensive model based on *R. pseudoacacia*, *P. aculeata*, *A. altissima*, *L. leucocephala*, *M. azedarach*, and *P. euphratica* trees was developed, and it is aimed to determine the areas where energy forestry can be done with GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis (GIS-MCDA) method. The study mainly consists of the following stages: (1) Determination of criteria (soil pH, sand content, clay content, depth, elevation, slope, aspect, temperature, and precipitation) for the cultivation of model trees, (2) spatial database development, (3) standardization of criteria, (4) determination of criteria weights and (5) determination of suitable areas for energy forestry with weighted linear combination method in GIS-MCDA model. While using the fuzzy technique for soil and topography data in the standardization phase, climate data are standardized by the Plant Climate Suitability Model (PCSM), in which the ecological

characteristics of the plant are also integrated. Based on expert opinions, the Analytical Hierarchy Process was used in the factor weighting phase, and spatial suitability maps for energy forestry were obtained according to both the present and the future period (2050). In determining how energy forestry will be affected by temperature and precipitation changes in the future period, the projection data of future climatic conditions (HADGEM2-ES RCP4.5) have been integrated into PCSM.

In addition to obtaining the spatial suitability of the studied species, comprehensive studies on the control of plant mobility and species competition in and around the plantations to be cultivated and multi-purpose use of these trees other than energy raw materials are presented. Besides, the CO₂ reduction rates of forest plantations extending from the present to the future period were determined by evaluating the carbon sink potentials of the suitable areas together with the CO₂ emissions from today's energy sector.

During both literature review and analysis, this study, which was separated from previous studies, reveals that at least 70% of CO₂ emissions from the energy sector today can be kept by 2020 and 97% by 2030 with the developed model. All of these qualities and the striking findings of this study can be included in the “intended national contribution statements,” “energy planning,” and “greenhouse gas reduction policies” proposed by the United Nations to countries. This study creates a national road map that will yield benefits in many sectors and areas. The thesis's motivation is to develop a practical and useful model for sustainable energy forestry to increase our country's renewable energy potential and reduce CO₂ emissions in combating climate change and reducing foreign dependency on energy. The thesis study results have a guiding nature for future planning and scientific studies in light of all these issues mentioned.

Keywords: energy forestry, geographic information systems, multi-criteria evaluation, analytical hierarchy process, IPCC, climate change, REDD, afforestation, intended national contribution statements, carbon sink, RCP 4.5, Turkey

ÖNSÖZ

Fosil yakıtların büyük ölçüde kullanıldığı enerji sektörü, iklim değişikliğine yol açan seragazı emisyonlarının ana kaynağıdır. İklim değişikliği etkilerinin azaltılmasına yönelik en önemli çaba ise sera gazı emisyon oranlarının azaltılmasına yönelik olmalıdır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması, hem fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji sistemlerinin bırakması hem de atmosferde mevcut karbon oranlarının azaltılması ile mümkün olabilir. Enerji ormancılığı bahselien bu hususlara yönelik çok amaçlı bir uygulamadır; önemli ölçüde karbon tutma potansiyeline sahiptir ve atmosferik karbonu daha az yıllık dalgalanmalarla ve daha uzun süreler boyunca tutabilir. Ürün bitkilerinden farklı olarak, ağaçların yetiştirilmesinde, tutulan karbonun atmosfere geri dönüşü daha yavaştır. Bu nedenle enerji ormancılığı plantasyonları, iklim değişikliğine uyum sağlama anlamında ve uyum kapasitesinin artırılmasında önemli bir unsur olabilir.

Enerji ormancılığı uygulamaları, ormancılığın gerçekleştirilmesi istenen coğrafyanın toprak ve iklim özelliklerine sıkı sıkıya bağlıdır. Bu özelliklerin yanında enerji üretiminde kullanılacak bu ormanların, işletme konusunda bazı kriterlere de uygun olması istenen bir durumdur. Örneğin orman alanı ulaşım hatlarından çok uzak olmamalı, tarım alanları ve birincil orman alanları hariç bırakılmalı ve toprak, ağacın yetişebileceği optimum özelliklere hitap edebilmelidir. Buradan anlaşılacağı üzere, enerji ormancılığı uygulamasını konumsal olarak planlanmak karmaşık bir iştir. Tüm bu değinilen hususlar, enerji ormancılığı yapılabilecek alanların dikkatle seçilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının azaltımı için enerji ormancılığı yapılabilecek alanların tespit edilmesine yönelik Coğrafi Bilgi Sistemleri - tabanlı bir model geliştirilmiş (Enerji Ormancılığı Yer Tespiti Modeli - EOYTM) ve bu modelin gelecek iklim senaryoları altında sürdürülebilirliği incelenerek günümüzde ve gelecekteki enerji ormancılığı uygulama alanları ve karbon yutak potansiyelleri ortaya konmuştur. Bu sayede sürdürülebilir enerji ormancılığı yönetimine yönelik pratik ve faydalı bir yöntem geliştirilmiş ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ivedilikle ihtiyaç duyulan yol haritası literatüre sunulmuştur.

İZMİR

24.12.2020

Fulya KANDEMİR



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxiv
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	10
2.1 Enerji Ormancılığı.....	10
2.2 Kısa Çevrimli Ormancılık ve Karbon Tutma Potansiyeli.....	19
2.3 Enerji Ormancılığında Uygun Alanların Seçilmesi: Konumsal Çok Kriterli Karar Analizi.....	22
2.3.1 Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar analizi.....	24
2.4 İklim Değişikliği ve Enerji Ormancılığı.....	25
3 YÖNTEM.....	32

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
3.1 Enerji Sektörü Kaynaklı CO ₂ Emisyonlarının Tespiti.....	35
3.2 Enerji Ormancılığı İçin Model Alınan Ağaçların Seçilmesi.....	37
3.2.1 <i>Robinia pseudoacacia</i> L. (Beyaz Çiçekli Yalancı Akasya).....	39
3.2.2 <i>Parkinsonia aculeata</i> L. (İbrişim Akasya).....	43
3.2.3 <i>Ailanthus altissima</i> (Mill.). (Aylandız / Kokarağaç).....	47
3.2.4 <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.....	50
3.2.5 <i>Melia azedarach</i> L. (Tesbih ağacı).....	52
3.2.6 <i>Populus euphratica</i> Oliv. (Fırat Kavağı).....	55
3.2.7 Model ağaç türlerinin karşılaştırılması.....	56
3.3 Ağaçların Yetiştirme Şartlarını Etkileyen Parametrelerin Tespiti.....	59
3.3.1 İklim.....	60
3.3.2 Toprak.....	62
3.3.3 Topoğrafya.....	65
3.4 Ağaçların Yetiştirme Şartlarına Yönelik Kriterlerin Belirlenmesi.....	66
3.5 Konumsal Veritabanı Geliştirme.....	71

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
3.5.1 Toprak verileri.....	72
3.5.2 İklim veri setleri ve kullanılan iklim senaryosuna dair bilgiler.....	77
3.5.3 Topografik veriler.....	98
3.5.4 Arazi örtüsü / kullanımı.....	99
3.6 Veri Oluşturma.....	101
3.6.1 Bakı ve eğim.....	101
3.7. Saha Uygunluk Analizi.....	102
3.8 Model Ağaçlar için CBS-tabanlı Enerji Ormancılığı Yer Tespiti Modelinin (EOYTM) Oluşturulması (CBS-ÇKKA).....	103
3.8.1. Kriter standardizasyonlarının gerçekleştirilmesi.....	103
3.8.1.1 Fuzzy (bulanık mantık) standardizasyonu.....	104
3.8.1.2 Bitki iklimsel uygunluk modeli (BİUM).....	109
3.8.2 Çok kriterli karar analizi (ÇKKA) ve CBS-ÇKKA'da faktör ağırlıklandırma.....	115
3.8.2.1 Analitik hiyerarşi prosesi (AHP).....	117

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

3.8.3 Enerji ormancılığı yapılabilecek alanların günümüz ve gelecek projeksiyonu [2050 – HADGEM2-ES, RCP 4.5] için EOYTM ile tespit edilmesi.....	123
4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	127
4.1 Gelecek Periyodu (2041-2060 - HADGEM2-ES RCP 4.5 / 2050) ile Günümüz (Referans) Periyodu Arasındaki İklim Anomalileri.....	127
4.2 Bitki İklimsel Uygunluk Modeli (BİUM): Günümüz ve Gelecek Referans Yıl İçin İklimsel Uygunlukların Değişimine Ait Sonuçlar.....	136
4.3 EOYTM Uygunluk Sonuçları ve Projeksiyonları (2017 – 2050 [HADGEM2-ES RCP 4.5]).....	137
4.4 Enerji Ormanlarının CO ₂ Tutumunun Belirlenmesi ve Enerji Sektöründen Kaynaklı CO ₂ Emisyonları ile Karşılaştırılması.....	176
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	165
KAYNAKLAR.....	189
TEŞEKKÜR.....	227
ÖZGEÇMİŞ.....	229

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

1.1. Türkiye’de sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (TÜİK, 2020).....	1
1.2. Enerji kaynaklarının günümüzdeki durumuna ve gelecek tahminlerine göre kullanım oranları (EIA, 2019).....	3
2.1. Odun esaslı yakıt hammaddelerinin sınıflandırılması (Röser et al., 2008).....	12
2.2. Bir ağacın bütün biyokütle bileşenleri (Hakkıla and Parikka, 2002; Röser et al., 2008).....	14
2.3. Yıllara göre CO ₂ emisyonu ve küresel yıllık sıcaklık anomalisi (1951-1980 referans yılları) değerleri (NASA, 2018).....	26
3.1. EOYTM’nin günümüze ait analizlerine ait diyagram: Burada günümüz CO ₂ emisyonlarının belirlenmesinde enerji sektörü kaynaklı emisyonlar dikkate alınacaktır.....	33
3.2. EOYTM’nin gelecek referans yıla ait ve seçilen iklim senaryosu esas alınarak gerçekleştirilecek analizlerine ait diyagram.....	34
3.3. Türkiye’de enerji sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonları (1990-2018) (TÜİK, 2020).....	36
3.4. <i>Robinia pseudoacacia</i> L. (BitkiVT, 2018a).....	39
3.5. <i>Parkinsonia aculeata</i> L. (BitkiVT, 2018b).....	43
3.6. <i>Ailanthus altissima</i> L. (BitkiVT, 2018c).....	47
3.7. <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit. (Wikipedia, 2018a).....	50
3.8. <i>Melia azedarach</i> L. (Wikipedia, 2018b).....	53
3.9. <i>Populus euphratica</i> Oliv. (Shutterstock, 2018; PIXABAY, 2018)...	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

3.10.	Yakacak odun olarak kullanılan bazı ağaçların odun yoğunlukları.	58
3.11.	Soilgrids veritabanının gerçekleştirilmesi aşamasında değerlendirilen toprak örnekleri (Hengl et al., 2016).....	74
3.12.	Soilgrids veritabanında bulunan toprak verilerinin oluşturulmasında izlenen basamaklar (Hengl et al., 2016).....	74
3.13.	Soilgrids veritabanı (Soilgrids, 2018).....	75
3.14.	Toprak pH.....	76
3.15.	Toprak kum içeriği (%).....	76
3.16.	Toprak kil içeriği (%).....	76
3.17.	Toprak R-horizonu (cm).....	77
3.18.	Farklı RCP senaryoları için küresel sıcaklık projeksiyonları (Architecture 2030, 2013).....	78
3.19.	İşinimsal zorlama projeksiyonları (Climate Change in Australia, 2016).....	79
3.20.	HADGEM2-ES tarafından oluşturulan GCM'nin ele aldığı geri-besleme mekanizmaları (https://www.ukca.ac.uk/images/8/80/Ukca_as_part_of_hadgem2es.pdf)	81
3.21.	Türkiye'de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık toplam yağışın alansal dağılış verileri (mm).....	84
3.22.	Türkiye'de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).....	87
3.23.	Türkiye'de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama maksimum sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

3.24. Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama minimum sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).....	93
3.25. Ward modeline göre oluşturulan iklim bölgeleri (İyigün vd., 2013): (1) Alttropikal Yarı-nemli Ege Sahili Kuru Yazı, (2) Yarı-nemli Orta-Batı Anadolu İklimi, (3) Alttropikal Nemli Akdeniz Sahili Kuru Yazı, (4) Yarı-nemli Doğu Marmara Geçiş İklimi, (5) Alttropikal Yarı-nemli/Yarı-kurak Karasal Akdeniz Kuru Yazı, (6) Yarı-nemli Soğuk Karasal Doğu Anadolu, (7) Kuru-yarınemli/Yarı-kurak Karasal Orta Anadolu, (8) Orta-enlem Nemli Ilıman Karadeniz Sahil İklimi, (9) Yarı-nemli Batı Marmara Geçiş İklimi, (10) Yarı-nemli Karasal İç Anadolu’dan Doğu Anadolu’ya Geçiş İklimi, (11) Yarı-nemli Soğuk Karasal Kuzeydoğu Anadolu Yağışlı Yazı, (12) Yarı-nemli Karasal Akdeniz’den Doğu Anadolu’ya Geçiş.....	96
3.26. EarthData veritabanında bulunan ASTER verileri (EarthData, 2018).	98
3.27. Sayısal yükseklik modeli verisi.....	99
3.28. Bakı verisi.....	101
3.29. Eğim verisi.....	102
3.30. pH faktörünün fuzzy grafiği.....	106
3.31. Kil içeriği faktörünün fuzzy grafiği.....	106
3.32. Kum içeriği faktörünün fuzzy grafiği.....	107
3.33. Ana kayaya olan uzaklık faktörünün fuzzy grafiği.....	107
3.34. Sayısal yükseklik modeli faktörünün fuzzy grafiği.....	108
3.35. Bakı faktörünün fuzzy grafiği.....	108

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.36. Eğitim faktörünün fuzzy grafiği.....	109
3.37. ECOCROP veritabanının bulunduğu ecocrop.fao.org linkine ait ilk arayüz.....	110
3.38. BİUM’da incelenen çevrim uzunluğu ve potansiyel büyüme sezonlarının tespiti (Eitzinger et al., 2014).....	111
3.39. Model enerji ormancılığı ağaçlarının sıcaklık istekleri (ECOCROP’tan alınan sayısal veriler ile oluşturulmuştur, 2018).....	113
3.40. Model enerji ormancılığı ağaçlarının yağış istekleri (ECOCROP’tan alınan sayısal veriler ile oluşturulmuştur, 2018).....	114
3.41. BİUM’un gelecek iklimsel uygunluğunun elde edilmesindeki çalışma adımlarını içeren diyagram gösterimi. Burada günümüz uygunluğu ele alınmak istenirse “Seçilen GCM ve RCP” yerine günümüze ait referans yıl ortalamasının iklimsel verileri kullanılmalıdır.....	115
3.42. CBS-tabanlı Enerji Ormancılığı Yer Tespiti Modeli (CBS-EOYTM) diyagramı.....	124
3.43. Terrset MCE arayüzü.....	125
4.1. Ortalama maksimum sıcaklığa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).....	128
4.2. Ortalama minimum sıcaklığa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).....	130
4.3. Toplam yağışa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).....	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

4.4. <i>R. pseudoacacia</i> için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.....	137
4.5. İklim bölgesi 10'da (yarı-nemli karasal İç Anadolu'dan Doğu Anadolu'ya geçiş iklimi bölgesi); 11'de (yarı-nemli soğuk Karasal Kuzeydoğu Anadolu yağışlı yazı) ve 12'de (yarı-nemli Karasal Akdeniz'den Doğu Anadolu'ya geçiş iklimi) 2017 ve 2050 için <i>R. pseudoacacia</i> iklimsel uygunluk histogramları.....	138
4.6. <i>P. aculeata</i> için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.....	139
4.7. İklim bölgesi 1'de (alttropikal yarı-nemli Ege sahili kuru yazı); 5'te (alttropikal yarı-nemli/yarı-kurak karasal Akdeniz kuru yazı) ve 12'de (yarı-nemli Karasal Akdeniz'den Doğu Anadolu'ya geçiş iklimi) 2017 ve 2050 için <i>P. aculeata</i> iklimsel uygunluk histogramları.....	140
4.8. <i>A. altissima</i> için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.....	141
4.9. İklim bölgesi 2'de (yarı-nemli Orta-Batı Anadolu iklimi); 10'da (yarı-nemli karasal İç Anadolu'dan Doğu Anadolu'ya geçiş iklimi) ve 6'da (yarı-nemli soğuk karasal Doğu Anadolu) 2017 ve 2050 için <i>A. altissima</i> iklimsel uygunluk histogramları.....	142
4.10. <i>L. leucocephala</i> için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.....	143
4.11. İklim bölgesi 1'de (alttropikal yarı-nemli Ege sahili kuru yazı); 3'te (alttropikal nemli Akdeniz sahili kuru yazı) ve 5'te (alttropikal yarı-nemli/yarı-kurak karasal Akdeniz kuru yazı) 2017 ve 2050 için <i>L. leucocephala</i> iklimsel uygunluk histogramları.....	144
4.12. <i>M. azedarach</i> için günümüz ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.....	145

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

4.13. İklim bölgesi 1’de (alttropikal yarı-nemli Ege sahili kuru yazı); 7’de (kuru-yarınemli/yarı-kurak karasal Orta Anadolu) ve 3’te (alttropikal nemli Akdeniz sahili kuru yazı) 2017 ve 2050 için <i>M. azedarach</i> iklimsel uygunluk histogramları.....	146
4.14. <i>P. euphratica</i> için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.....	147
4.15. İklim bölgesi 7’de (kuru-yarınemli/yarı-kurak karasal Orta Anadolu) 2050 için <i>P. euphratica</i> iklimsel uygunluk histogramı.....	148
4.16. <i>R. pseudoacacia</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre 2017 yılı uygunluk haritası.....	152
4.17. <i>R. pseudoacacia</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.....	153
4.18. <i>P. aculeata</i> bitkisine ait 2017 yılı uygunluk haritası.....	155
4.19. <i>P. aculeata</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.....	156
4.20. <i>A. altissima</i> bitkisine ait 2017 yılı uygunluk haritası.....	158
4.21. <i>A. altissima</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.....	158
4.22. <i>L. leucocephala</i> bitkisine ait 2017 yılı uygunluk haritası.....	161
4.23. <i>L. leucocephala</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.....	162
4.24. <i>M. azedarach</i> bitkisine ait 2017 yılı uygunluk haritası.....	164
4.25. <i>M. azedarach</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.....	165
4.26. <i>P. euphratica</i> bitkisine ait 2017 yılı uygunluk haritası.....	167

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

4.27. <i>P. euphratica</i> yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.....	168
4.28. <i>R. pseudoacacia</i> yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.....	171
4.29. <i>P. aculeata</i> yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.....	172
4.30. <i>A. altissima</i> yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.....	173
4.31. <i>L. leucocephala</i> yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.....	173
4.32. <i>M. azedarach</i> yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.....	174
4.33. <i>P. euphratica</i> yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.....	175

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

1.1. Türlerine göre küresel yenilenebilir enerji kullanımı (Ellabban et al., 2014).....	4
2.1. Orman biyoenerjisi ile uluslararası sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişki (Lunnan et al., 2008).....	16
2.2. Çok kriterli karar verme analizi metodları (Diaz-Balteiro vd., 2017; Ortiz-Urbina vd., 2019).....	23
3.1. TÜİK tarafından yayınlanan Sera Gazı Emisyon İstatistik verilerine göre 1990-2018 yılları arasında ülke genelinde enerji sektöründen kaynaklı CO ₂ emisyonları ve enerji sektöründeki CO ₂ kaynakları (TÜİK, 2020).....	36
3.2. Model ağaçlar; Latince adları, yaşam süresi ve türün bulunduğu aile adı (ECOCROP, 2018).....	38
3.3. <i>P. aculeata</i> 'nın gövde çapı baz alınan genişliği ve gövde uzunluğuna göre kuru biyokütle ağırlığı (kg) (Stewart et al., 1992).....	46
3.4. Model ağaçların karbon tutulum / depolama kapasiteleri.....	56
3.5. Model ağaçlara ait özellikler (National Research Council, 1980a; 1980b; Duke, 1983; Jain, 1994; World Agroforestry Database, 2018; Kamperidou et al., 2018; Wood Database, 2018).....	57
3.6. Ağaçların yetiştirme şartlarına yönelik kriterlerin belirlenmesi için yararlanılan kaynaklar.....	60
3.7. Toprak kalınlığı ve sınıflandırması (Erinç, 1977).....	63
3.8. Farklı tekstürlerde su kapasitesi (150 cm kalınlıktaki bir tabaka için) (Erinç, 1977).....	64
3.9. Toprak cinslerinin organik madde, higroskopik kapasite, tarla kapasitesi, kapiler kapasite ve maksimum su tutma kapasitesi.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Sayfa

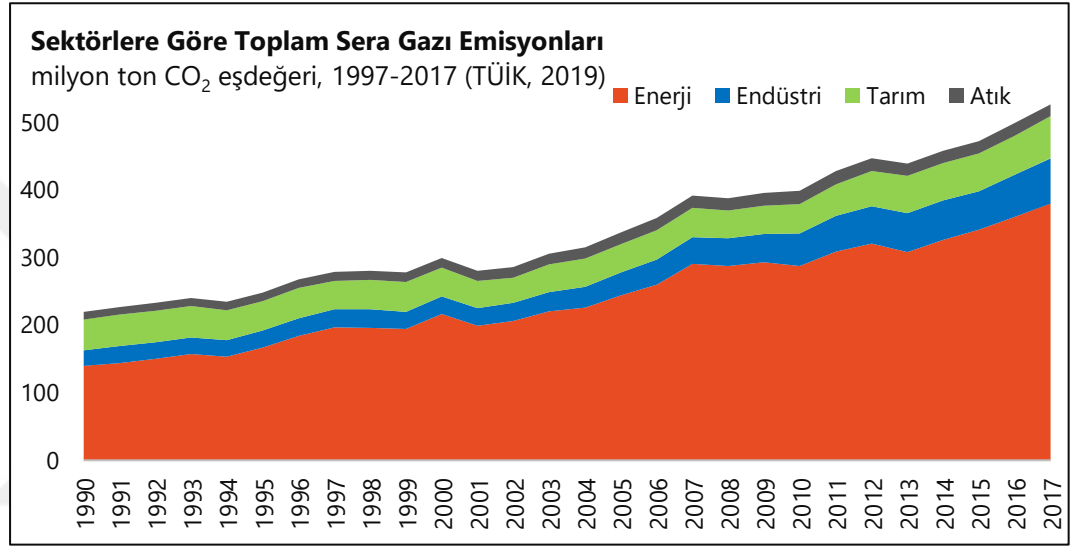
3.10. Türkiye Tohumcular Birliği tarafından belirtilen toprak pH aralıkları (Türktob, 2012).....	65
3.11. Model ağaçların yetiştiriciliğine yönelik kriterler (El Bassam, 2010; Strangard et al., 2014; ECOCROP, 2018).....	68
3.12. Tez çalışmasında kullanılan veritabanı listesi.....	72
3.13. Soilgrids veritabanında bulunan toprak verilerinin regresyon sonuçları.	75
3.14. Ward modeline göre oluşturulan iklim bölgelerinin içinde bulunan coğrafi bölgeler.....	97
3.15. CORINE verisinde bulunan arazi örtüsü ana ve alt sınıfları (CORINE, 2018).....	100
3.16. Sıcaklık koşullarına göre uygunluk değerleri (Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018).....	112
3.17. Yağış koşullarına göre uygunluk değerleri (Eitzinger vd., 2014; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018).....	113
3.18. Çok kriterli karar verme analizi metodları (Diaz-Balteiro et al., 2017; Ortiz-Urbina et al., 2019).....	116
3.19. İkili karşılaştırma matrisi (1); CR=0.10.....	121
3.20. İkili karşılaştırma matrisi (2); CR=0.06.....	121
3.21. İkili karşılaştırma matrisi (3); CR=0.12.....	122
3.22. Karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalaması.....	122
4.1. <i>R. pseudoacacia</i> 'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılışları.....	154
4.2. <i>P. aculeata</i> 'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılışları.....	157

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. <i>A. altissima</i> 'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılışları.....	160
4.4. <i>L. leucocephala</i> 'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılışları.....	163
4.5. <i>M. azedarach</i> 'ın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılışları.....	166
4.6. <i>P. euphratica</i> 'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılışları.....	169
4.7. Ağaçların, 2018 yılında enerji sektöründen kaynaklı CO ₂ emisyonunu 2017 yılından itibaren azaltım potansiyelleri ile 2050 yılı ve sonrası için karbon tutum potansiyelleri.....	177

1 GİRİŞ

Enerji sektörü, iklim değişikliğine yol açan seragazı emisyonlarının ana kaynağıdır. 2018 yılında Türkiye'nin toplam seragazı emisyonu 520.9 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşmış olup bunun %35.5'i elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %85.8'i enerji sektöründen kaynaklanmıştır (Şekil 1.1) (TÜİK, 2020). Bu emisyonların azaltılması, ülkemizin felsefesi ile mutabık kaldığı BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) gibi iklim değişikliği ile mücadele sözleşmelerinin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 1.1. Türkiye’de sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (TÜİK, 2020).

Ülkemiz 1992 yılında Rio de Janeiro’da düzenlenen Birleşmiş Milletler (BM) Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda imzaya açılan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine (BMİDÇS) 24 Mayıs 2004 tarihinde taraf olmuştur. Bu sözleşme, taraf ülkeleri, sera gazı emisyonlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji üzerinde iş birliği yapmaya ve sera gazı yutaklarını (örneğin ormanlar, okyanuslar, göller) korumaya teşvik etmektedir. Sözleşme, sera gazı emisyonlarının azaltılması için, ülkelerin kalkınma önceliklerini ve özel koşullarını göz önüne alarak “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler” ilkesine dayanmaktadır. Ülkemiz, sözleşme kapsamında oluşturulan Ek-1 ülkelerinin sorumlu olduğu; sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak, sera gazı yutaklarını korumak ve geliştirmek, ayrıca, iklim değişikliğini önlemek için aldıkları önlemleri ve izledikleri politikaları bildirmek ve mevcut sera gazı emisyonlarını ve emisyonlarla ilgili verileri iletmekle yükümlüdür. Ek-2 ülkeleri ise birinci grupta üstlendikleri yükümlülüklerle ilaveten çevreyle uyumlu teknolojilerin özellikle

gelişme yolundaki taraf ülkelere aktarılması veya bu teknolojilere erişimin teşvik edilmesi, kolaylaştırılması ve finanse edilmesi hususlarında her türlü adımı atmakla sorumlu kılınmışlardır (TCDB, 2017).

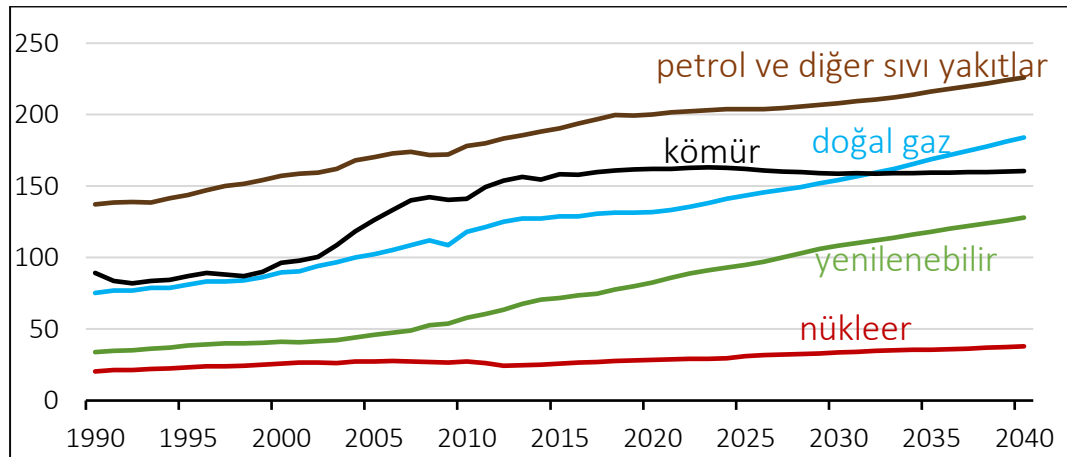
Türkiye, Ek-1 ülkelerinden olmasına rağmen, 2001 yılında alınan Marakeş Kararları'nda, ülkenin özel durumları göz önünde bulundurulduğundan dolayı finansman, kapasite geliştirme ve teknoloji transferi destek ve imkânlarından yararlanmasına karar verilmiştir. Bu da ülkemizin Ek-1'deki sorumlulukları gerçekleştirirken Küresel Çevre Fonu (GEF) dâhil olmak üzere çok taraflı kurumlar, uluslararası kuruluşlar ve ikili fonlar gibi yollarla finans, teknoloji, teknik ve kapasite geliştirme desteği alabileceğini göstermektedir. 2015 yılında düzenlenen Paris 21. Taraflar Konferansı'nda (COP 21) ise ülkeler, emisyon azaltımı taahhüdünde bulunurken, Sözleşme'nin Ek sistemine atıfta bulunmaması, ülkemizin "özel koşulları"nın Paris Anlaşması'na veya COP 21 kararlarına eklenmesine imkân vermemiştir. Buna rağmen Türkiye'nin halen Ek-1'deki sorumluluklarını yerine getirmesi oldukça önemlidir (TCDB, 2017).

Ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltmak için farklı yöntemler geliştirmektedir. Bunların içerisinde fosil yakıt ile enerji üretimi kaynaklı CO₂ emisyonların azaltılması büyük önem arz etmektedir. CO₂ emisyonlarının azaltılmasında öncelikli stratejilerden biri ise fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjilerinin kullanılması, var olan fosil yakıt kullanımını azaltmada büyük rol oynamaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın web sitesinde yayınlanan güncel bilgilere göre, 2019 yılı itibarı ile kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; % 31.4 hidrolik enerji, % 28.6 doğalgaz, % 22.4 kömür, % 8.1 rüzgâr, % 6.2 güneş, % 1.6 jeotermal ve % 1.7 ise diğer kaynaklar şeklindedir. Biyokütle enerjisi ise %1.7'lik diğer enerji kaynakları kategorisinde kalmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020). Burada görüldüğü üzere fosil yakıtlar, elektrik enerjisi üretiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu yakıtlardan elektrik enerjisi üretimi karbondioksit salımına neden olmakta ve iklim değişikliği etkilerinin gelecekte artmasına yönelik küresel bazda kümülatif bir etki meydana getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının artırılması ise bu etkinin azaltılması konusunda önemli bir adım oluşturmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ülkelerin sadece sera gazı emisyonlarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda enerji arz güvenliklerini de artırır. 1973 yılında gerçekleşen Arap Petrol Ambargosunun yarattığı ve birkaç ülkenin elinde toplanmış olan enerji kaynaklarının siyasal bir sermaye olarak kullanılması sonucu oluşan petrol krizi, tüm ülkelere bir hayat dersi vermiştir (Montgomery, 2014). Enerji arz güvenliğinin artırılması hususu tüm ülkeler gibi ülkemiz için de gelecekte çok daha kritik bir konu haline gelecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, küresel bazda fosil yakıtlardan daha düşük orandadır. Özellikle EIA'nın (Energy Information Administration) (2019) gelecek öngörülerine bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının önemli ölçüde artacağı görülmektedir (Şekil 1.2). Bu artışın önemli bir bölümünü ise biyokütle enerjisi (hidroelektrik enerji hariç bırakıldığında) oluşturacaktır: Ellabban et al., (2014) tarafından yapılan çalışmaya göre, 2035 yılında biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde %14'lük bir paya sahip olacaktır. Biyokütle enerjisi, bugün petrol ile yarışabilecek sıvı yakıt üretiminde en büyük alternatiftir (FAO, 1997). Gelecekte bu enerji kaynağı, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yüzdeye sahip olacaktır (Çizelge 1.1). Biyokütle enerjisine en büyük katkıyı ise enerji bitkileri ve enerji ormancılığı plantasyonları sağlayacaktır. Sağlanacak katkının tahminlendiği bazı çalışmalarda, plantasyonların katkısının 2020-2030 arasında yaklaşık %40, 2050 yılında %50 ve 2100 yılında %82 olacağı öngörülmüştür (Berndes et al., 2003).



Şekil 1.2. Enerji kaynaklarının günümüzdeki durumuna ve gelecek tahminlerine göre kullanım oranları (EIA, 2019).

Çizelge 1.1. Türlerine göre küresel yenilenebilir enerji kullanımı (Ellabban et al., 2014).

Enerji Türü	Elektrik Üretimi (TWh)		
	2010	2020	2035
Biyoenjeri	331	696 (%10)	1487 (%14)
Hidro	3431	4513 (%64)	5677 (%50)
Rüzgâr	342	1272 (%18)	2681 (%23)
Jeotermal	68	131 (%18)	315 (%3)
Solar FV	32	332 (%5)	846 (%8)
CSP	2	50 (%0,7)	278 (%2,4)
Dalga	1	5 (%0,07)	57 (%0,5)

Ülkemiz coğrafi açıdan mikroiklimsel çeşitliliklere sahip bir bölgede bulunmaktadır. Bu durum, bölgenin flora ve fauna açısından çeşitliliğinin kayda değer düzeyde olmasını sağlamaktadır. Biyokütle enerjisi, Türkiye gibi toprak ve iklim uygunluğuna sahip bir bölgede geliştirilmesi gereken enerji kaynaklarından biridir. Biyokütle enerjisinin elde edilmesi için ise gerekli hammadde doğanın kendisinden sağlanabilmektedir: Organik bitkisel, evsel, endüstriyel ve hayvansal atıklar, enerji üretimi için yetiştirilen bitkiler ve ağaçlar. Tez aşamasında ilgilenilecek hammadde türü ise enerji üretimi için yetiştirilecek ağaçların oluşturduğu enerji ormanlarıdır.

Ormanlaştırma konusu altında irdelenebilecek olan enerji ormanları kavramı, birincil ormanlardan farklı olarak kısa çevrimli ağaçların oluşturduğu orman alanlarını temsil eder. Bu ormanlarda kısa çevrimli söğüt, kavak, okaliptüs gibi ağaçlar yetiştirilmekte ve bu ağaçlardan katı, sıvı veya gaz yakıt üretiminde yararlanılmaktadır. Bu ağaçlar, yetiştirildikleri dönem boyunca çok hızlı gelişirler ve yüksek CO₂ tutumu sağlarlar. Özellikle marjinal koşullara uyum sağlayan ağaçların oluşturduğu bu ormanlar enerji üretiminin yanı sıra hem farklı bölgelerin rehabilitasyonuna değişik şekillerde katkı vermekte (Nixon et al., 2000) hem de kuş ve böcek gibi canlılara da habitat sağlayabilmektedir.

Ormanların korunmasının genellikle CO₂ emisyonlarının önlenmesinde geçerli bir işlem olduğu bilinmektedir (Dixon et al., 1994; Harmon et al., 1990; Marland et al., 1997) ve ormanlaştırmanın fosil yakıtların kullanımından kaynaklı emisyonların bir kısmını tutabilme olasılığına sahip olduğu kabul edilmektedir (Marland et al., 1997). Ormanlaştırma sürecine enerji ormanları dahil edildiğinde, ormanların CO₂ tutmasının yanı sıra enerji üretimi için kullanılmalarının sağlanması ile fosil yakıt ihtiyacında azalma da gerçekleştirilebilecektir (Hall et al., 1991; Heath et al., 1996; Matthews, 1996; Marland et al., 1997). Bu özellikleri ile ülkeler, sürdürülebilir enerji ormancılığı uygulamalarını desteklemektedir. Ülkemiz de enerji ormancılığı politikasının rahatlıkla gerçekleştirilebileceği bir coğrafyaya ve iklime sahiptir.

Mevcut orman yönetimi senaryolarının birçoğunda, karar verme sürecine ekonomik, çevresel, sosyal vb. çok farklı türde kriterlerin dahil edilmesine yönelik tartışılmaz bir ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun temel nedeni, modern toplumların orman sistemlerinden çeşitli türlerde mal ve hizmetler talep etmesidir. Bu nedenle, ekonomik karlılık, karbon tutumu ve biyolojik çeşitliliğin korunması, talep edilen özelliklerin küçük bir örneğini oluşturur. Tez çalışmasını **motive eden** hususlar şu şekilde özetlenebilir:

- (1) Orman yönetimi senaryoları altında değerlendirilecek enerji ormancılığı uygulamaları, Türkiye genelinde, farklı türde kriterlerin değerlendirmesi altında ve diğer arazi kullanımları ile uyumlu bir şekilde konumsal olarak nasıl planlanabilir: Enerji ormancılığı uygulamaları, ormancılığın gerçekleştirilmesi istenen coğrafyanın toprak ve iklim özelliklerine sıkı sıkıya bağlıdır. Bilindiği üzere yetiştirilecek bitki ve ağaçlara göre uygun toprakların ve iklim yapısının seçilmesi, ormanlaştırma sürecinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu özelliklerin yanında enerji üretiminde kullanılacak bu ormanların, işletme konusunda bazı kriterlere de uygun olması istenen bir durumdur. Örneğin orman alanı ulaşım hatlarından çok uzak olmamalı, tarım alanları ve birincil orman alanları hariç bırakılmalı ve toprak, ağacın yetişebileceği optimum özelliklere hitap edebilmelidir. Tüm bu değinilen hususlar, enerji ormancılığı yapılabilecek alanların dikkatle seçilmesini gerektirmektedir.
- (2) Konumsal olarak planlanan enerji ormancılığı uygulama alanlarının, gelecek koşulları altında sürdürülebilir hale gelmesine yönelik hangi

yenilikçi çalışmalar gerçekleştirilebilir: Enerji ormancılığının gerçekleştirilebileceği alanlar her ne kadar doğru şekilde belirlense bile ormancılık uygulamaları, gelecekte yaşanabilecek iklim değişikliğine hassasiyet gösterebilecektir. Günümüzde enerji ormancılığının uygulanabileceği alanlarda yetiştirilecek ağaçların, gelecek iklim koşullarından nasıl etkileneceği ve bu etkinin konumsal ve alansal bazda nasıl sonuçlarının olacağının belirlenmesi önemli hale gelmektedir. Burada geleceğin tahminlenmesi, politik senaryoların oluşturulması ve planlamaların gerçekleştirilmesi için de oldukça elzemdir (Barredo and Demicheli, 2003). Özellikle gelecekte yaşanabilecek iklim değişikliğinden yüksek oranda etkilenecek enerji ormancılığı uygulamalarının geleceğe yönelik model çalışmaları ile analiz edilmesi ve enerji politikalarına dahil edilmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında, Türkiye’de enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının azaltımı için enerji ormancılığı yapılabilecek alanların tespit edilmesine yönelik Coğrafi Bilgi Sistemleri - tabanlı bir modelin geliştirilmesi (Enerji Ormancılığı Yer Tespiti Modeli - EOYTM) ve bu modelin gelecek iklim senaryoları altında sürdürülebilirliğinin incelenerek enerji ormancılığının alansal bazda gelecekte nasıl değişeceğine yönelik projeksiyonların ortaya konması **amaçlanmıştır**.

Tezin **kapsamı** ile uyumlu olarak, çalışmada, model ağaçlar olarak seçilen *Robinia pseudoacacia*, *Parkinsonia aculeata*, *Ailanthus altissima*, *Leucaena leucocephala*, *Melia azedarach* ve *Populus euphratica* ağaçlarının yetiştiriciliğine yönelik olarak, arazinin toprak yapısına (toprak pH, toprak kum içeriği, toprak kil içeriği ve ana kayaya olan derinlik), topografyasına (sayısal yükseklik modeli, eğim ve bakı), coğrafi özelliğine (eğim) ve iklimsel parametrelere (sıcaklık ve yağış) ait kriterler, kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Kriterlerin tespitini takip eden süreçte farklı veritabanlarının taranması sonucu elde edilen veriler ile tez çalışmasına yönelik konumsal veritabanı geliştirilmiştir. Burada veriler, fuzzy faktör standardizasyon metodu ile normalize edilerek çalışma kapsamında tasarlanmış Enerji Ormancılığı Yer Tespit Modeli’ne (EOYTM) dahil edilmiştir. Uzman görüşlerine dayalı olarak gerçekleştirilen faktör ağırlıklandırma aşamasında ise Analitik Hiyerarşi Prosesinin kullanıldığı çalışmada, günümüze ait enerji ormancılığı konumsal uygunluk haritaları elde edilmiştir. Burada enerji ormancılığı için uygun alanlara ait karbon yutak potansiyellerinin günümüz enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonları ile birlikte değerlendirilmesi ile orman plantasyonlarının

CO₂ azaltım oranları tespit edilmiştir. Sürdürülebilir bir ormancılık stratejisinin geliştirilmesi içinse detaylı literatür taraması ile seçilen iklim senaryosu (HADGEM2-ES, RCP 4.5) altında gelecek referans yıla (2050) yönelik konumsal uygunluk projeksiyonları üretilmiştir. Bunun için tez çalışması kapsamında Bitki - İklimsel Uygunluk Modeli (BİUM) tasarlanmış ve model ağaçların gelecekteki iklimsel uygunluklarının nasıl değişeceği ortaya konmuştur. Bu şekilde uzun vadeli enerji ormancılığı stratejisine yönelik modelleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Enerji ormancılığı için uygun alanların belirlenmesi, tıpkı tehlikeli atık tesislerinin (Yesilnacar and Cetin, 2005), sağlık hizmeti binalarının (Dell'Ovo et al., 2018), off-shore rüzgâr enerjisi platformlarının (Cradden et al., 2016), katı atık depolama tesislerinin (Sarptas et al., 2005) ve solar desalinasyon uygulamalarının (Aydin and Sarptaş, 2020) gerçekleştirilebileceği alanların belirlenmesinde olduğu gibi bir çok kriterli karar analizi problemidir. Tez kapsamında seçilen model ağaçlar içinde bulunan *R. pseudoacacia* için, literatürde CBS-tabanlı bir alansal uygunluk çalışması yapıldığı görülmüştür. Bu çalışma Dengiz et al., (2010) tarafından Türkiye’de, Yeşilirmak Deltası ve Karadeniz Bölgesi’nin merkezi için gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar çalışmada, başka ağaçları da ele almış ve arazi uygunluğunun değerlendirilmesi için ele alınan toprak faktörlerini (toprak pH, elektriksel iletkenlik, toprağın derinliği, organik karbon miktarı, toprak tekstürü, kalsiyum karbonat miktarı ve kaba parça miktarı) farklı değerler ile puanlayarak standardize etmiştir. Bu puanlamada FAO tarafından geliştirilen genel bir metottan yararlanılmıştır. *P. euphratica* içinse yine literatürde, Rüger et al., (2005) tarafından gerçekleştirilmiş Kuzey Amudarya deltasına (Özbekistan) ait fuzzy habitat uygunluk indeksi çalışması bulunmaktadır. Habitat uygunluğu için belirleyici parametreler olarak jeomorfoloji, yeraltı suyu seviyesi ve su baskını rejimi (yani sel sıklığı, son taşkın zamanlaması ve süresi) gibi çevresel değişkenler seçilmiştir. Bu değişkenler, toplanan yarı niceliksel ve nitel bilgi ile fuzzy yaklaşımı kullanılarak standardize edilmiştir. Ortaya çıkan indeks, bir alanın *P. euphratica* için uygunluğunu ortaya koyacak şekilde CBS ortamında oluşturulmuş ve sonuçlar, makul olup olmadıklarını kontrol etmek için tugai ormanının 2000 yılındaki gerçek dağılımıyla karşılaştırılmıştır. Bu yollarla, *P. euphratica* için habitat uygunluğu, hızlı ve basit bir şekilde ortaya konmuştur.

Literatürde yapılan bu çalışmalardan farklı olarak, gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, akademik literatürde ilk defa, günümüz ve gelecek koşulları için çok

kriterli karar analiz modeli uygulaması yapılmıştır. Literatürde kısa çevrimli ormancılığın ve dolayısı ile enerji ormancılığının yaygınlaştırılmasında bazı boşluklar tespit edilmiştir. Bunlar:

- Kurak ve yarı-kurak iklim koşullarında çıkan orman yangınlarında çok büyük zarar gören çam ormanlarından farklı olarak, yanmış alanlarda ve marjinal alanlarda adaptasyon kapasitesi yüksek bitkilerin, enerji eldesi ve karbon yutağı başta olmak üzere çok amaçlı olarak yetiştirilmesinde kapsamlı konumsal karar analizi yönteminin gerçekleştirilmemiş olması,
- Konumsal karar analizi yöntemlerinin geliştirilmesinde günümüz koşulları ile alansal uygunluklarının tespit edileceği kısa çevrimli orman ağaçlarının, gelecek koşullarından hangi ölçüde etkileneceğine yönelik çalışmaların yeterince gerçekleştirilmemesi ve eksik olması,
- Hızlı büyüyen, kısa çevrimli ormancılık ağaçlarının yetiştiriciliğinin günümüz ve gelecek iklim koşullarında nasıl değişeceğine yönelik iklimsel uygunluk analiz yöntemlerinin sistematik olmaması,
- Sürdürülebilir enerji ormancılığı yönetimine yönelik pratik ve faydalı tekniklere, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında ivedilikle ihtiyaç duyulması,
- Ülkemizde geliştirilen sera gazı envanter raporlarında TÜİK verilerine “Ormancılık ve diğer arazi kullanımından kaynaklanan emisyonlar ve yutaklar” konusunun dahil edilmemesi,
- Ülkemiz genelinde ormansızlaşma veya ormancılık faaliyetleri ile arazi kullanım değişikliğinden kaynaklı emisyon etkilerinin henüz ulusal planlamalara dahil edilmemiş olması,
- Türkiye’de, “ormansızlaşma veya orman bozulmasından kaynaklı emisyonların hesaplanması” ve ayrıca “ormanlaştırma veya orman yeniden düzenlemesi konularının karbon yutaklarının zenginleştirilmesine nasıl katkı sağlayacağı” çalışmalarının Birleşmiş Milletler’e verilen niyet edilen ulusal katkı beyanlarına eklenmesi gerekliliğidir.

Yukarıda belirtilen boşlukların doldurulması için gerçekleştirilen bu tez çalışması, amacı ve kapsamı ile hem yenilenebilir enerji kullanımının sağlanması hem de ülkemizdeki karbon yutak potansiyelinin artırılmasına yönelik günümüzden tüm yüzyıla kadar yayılabilecek bir rehberlik çalışması sunmaktadır. Gerek literatür taraması gerekse analizlerin gerçekleştirilmesi sırasında önceki çalışmalardan ayrılan bu çalışma, gelecekte planlanabilecek

Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından ülkelere önerilen “niyet edilen ulusal katkı beyanları”na,

“enerji planlamalarına”,

“sera gazı azaltım politikalarına”,

“ormansızlaşma ve orman bozulmasından kaynaklı CO₂ emisyonlarının azaltılması stratejileri”ne ve

“sürdürülebilir kalkınma hedefleri”ne

hem devlet kurumlarınca hem de özel veya diğer tüm paydaşların katılımı ile dahil edilebilecek niteliktedir. Yapılan bu çalışma, birçok sektör ve alanda getirilerinin olacağı ulusal çapta bir yol haritası oluşturmaktadır. Tez çalışması, ülkemizin, iklim değişikliği ile mücadele ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılarak temiz enerji ile sürdürülebilir kalkınma hedefleri içinde gerçekleştirmek istediği birçok aşamaya kapsamlı bir bakış açısı sunabilecek olup; tez çalışmasının sonuçları, bu hususlar ışığında gelecekteki planlamalara ve bilimsel çalışmalara yol gösterici bir nitelik taşımaktadır.

2 LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Enerji Ormancılığı

Petrolün yaygın olarak bulunabildiği 100 yıl öncesine kadar ormanlar her zaman insanlık için birincil enerji kaynağı olmuştur (FAO, 2008). Batı Avrupa'daki köylüler bir zamanlar kralların ve soyluların koruması altında olan ormanlarda “tahsis etme” (yani tarımsal ürünler için ormanları temizleme), orman artıkları ve ormandaki çöpleri toplama haklarını korumak için mücadele etmiştir (James, 1981; Andersson et al., 2006). Geçmişte, orman yasaları ve bireylerin ormanlar üzerindeki “hakları” için mücadeleleri, orman ve enerji kullanımı konularında yoğunlaşmıştır. Bugün ise aynı konular, milyonlarca fakir insanın odun veya enerji için biyokütleyle bağımlı olduğu gelişmekte olan ülkelerde halen önemini korumaktadır. Orman biyokütle kullanımının özellikle geleneksel şekli, uygulamada basit ve küçük ölçeklidir. Ancak son dönemlerde, orman biyokütlesinin kullanımının endüstriyel enerji sistemlerine entegre edilmesini sağlayan büyük ölçekli teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu gelişmenin ana teşviklerini ise petrol fiyatlarındaki dengesizlik ve fosil yakıt kullanımının sera gazı emisyonları yoluyla çevre üzerindeki etkilerine yönelik endişeler oluşturmaktadır (Andersson et al., 2006).

En eski enerji türlerinden biri olan odundan biyoenerji üretimi birçok sanayileşmiş ülkede uzun süre ilkel bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiş olsa da son zamanlarda bu enerji kaynağına yönelik dünya çapında bir ilgi artışı yaşanmaktadır. Önemi ve tarihi düşünüldüğünde, odunun modern zamanlarda önemli bir enerji kaynağı olarak yaygınlaşmasının yeni bir olgu gibi görülmesi şaşırtıcıdır. Bu durum temel olarak, sanayileşmiş ülkelerdeki fosil yakıt kaynaklarının azalmasının baskısı ve bazı gelişmiş ülkelerdeki nükleer enerjiden ve risklerinden daha bağımsız olma arzusundan kaynaklanmaktadır. Ek olarak, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra biyoenerji, fosil yakıtlara bir alternatif olarak tanımlanmış olup bu şekilde sera gazı emisyonlarını azaltarak antropojenik bir iklim değişikliğinin daha da ilerlemesini önlemeye yardımcı olabilir (Seifert et al., 2014).

Ağaçların bilinçli olarak biyoenerji hammaddesi üretimine entegre edilmesi olan enerji ormancılığı, katı, sıvı ve gaz yakıt üretiminde kullanılabilecek, enerji hammaddesi ağaçların yetiştirilmesine yönelik tüm işlemleri ve planlamaları kapsamaktadır. Enerji ormancılığı yeni bir kavram gibi gözükse de aslında eski

dönemlere kadar uzanan bir geçmişe sahiptir. Enerji ormanı kavramı örneğin, Orta Avrupa'da 2000 yıldan beri bilinen ve yakacak odun üretiminde kullanılan eski kısa çevrimli baltalıkların modern şeklidir. Genelde 2 ila 10 yıllık rotasyonlarla işletilen kavak, söğüt, akasya ve okaliptüs gibi türler kısa çevrimli ormancılık kapsamında değerlendirilmektedir. Enerji ormancılığında "Bir kez ekin ve birkaç kez hasat edin" ilkesine göre, 20 ila 25 yıllık bir süre zarfında, tercihen marjinal olarak değeri olmayan arazilerde odun veya diğer ormancılık ürünleri ile biyokütle enerjisi için hammadde vb. üretilir. Bu ormancılık yöntemi, iklim değişikliği, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması ve geleneksel tarım ürünlerine kıyasla çevrenin korunması açısından ilginçtir. Ek olarak, kısa çevrimli ormancılık uygulanmaya başladığında, düşük iş yükü ile öngörülebilir bir gelir kaynağı haline gelir (INRA, 2020).

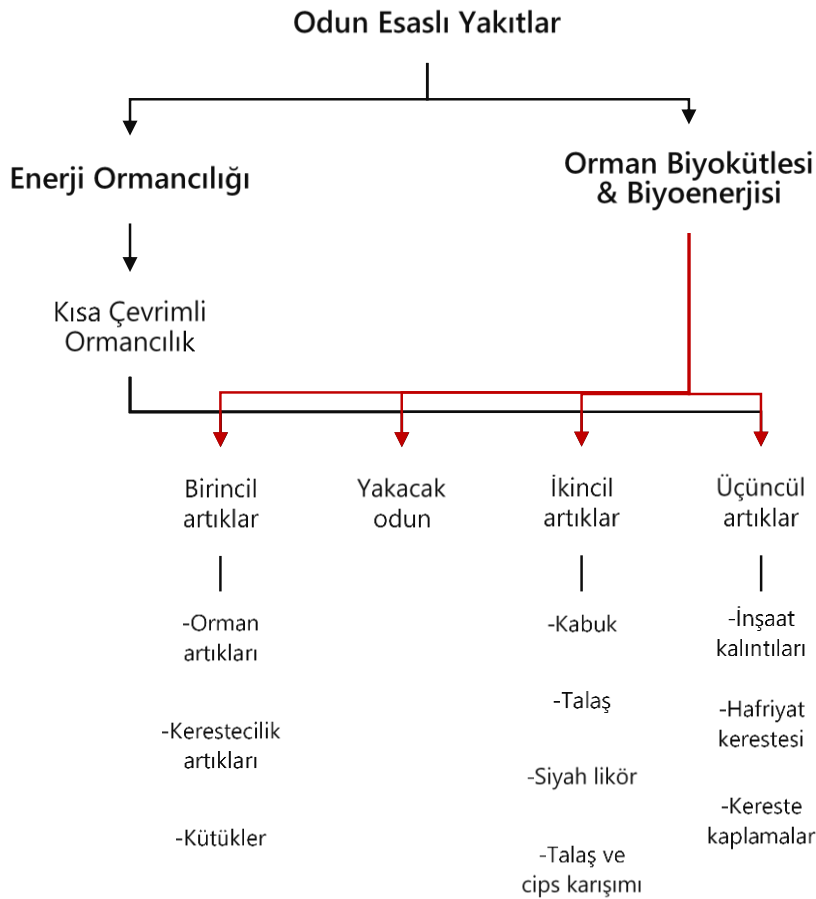
Enerji ormancılığı için tahsis edilen alanlardan verimli teknolojiyle üretilen odun, birçok ülkede zaten fosil yakıtlar ile rekabet halindedir ve biyoenerji hammaddeleri arasında en yüksek enerji ve karbon verimliliğine sahiptir. En önemlisi, odunun kombine ısı ve enerji santrallerinde %80'e varan dönüşüm verimliliği bulunmaktadır ve odun-pelet sobaları benzer şekilde yüksek dönüşüm oranları sağlarlar. Bunun yanı sıra mevcut olan teknoloji ile aynı zamanda odun ve ağaç artıkları dahil selülozik malzemelerden ticari olarak rekabetçi sıvı biyoyakıt üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanı sıra yağ içeriği olan ağaç tohumlarından da dizel yakıtına alternatif biyoyakıt üretilmektedir (FAO, 2008).

Fosil yakıtların azalan rezervleri ile maliyetleri arttıkça, odunun ve enerji ormancılığının önemi çarpıcı biçimde artmaktadır. Eğer enerji ormancılığı kapsamında ağaçların yetiştirilmesi ve ormancılık uygulamaları daha iyi yönetilip kullanılırsa, gelişmekte olan ülke ekonomileri için ihtiyaç olan enerji üretimi hızla artırılabilir. Bu durum oldukça ucuza, ekonomik anlamda dışa bağımlılık olmadan ve çoğu durumda halihazırda mevcut olan teknoloji ile ciddi enerji kıtlığı olan ülkelerde istihdamı arttıracak şekilde gerçekleştirilebilir (National Research Council, 1980b).

Fosil yakıt tüketimini azaltmak ve sera gazı emisyonlarını sınırlamak için alternatif enerji kaynaklarından olan biyoenerji, "yenilenebilir" enerji kaynaklarından gelen mevcut arzın büyük bir bölümünü oluşturur. Odun, yemek pişirmek ve ısıtmak için binlerce yıldır kullanılmaktadır. Az gelişmiş ve gelişmekte

olan ülkelerde (Afrika'nın çoğunda), birincil enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. Toplam odun yakıtı tüketimi, büyük ölçüde nüfus artışının bir sonucu olarak artmaktadır. Diğer gelişmekte olan bölgelerde, ulusal düzeydeki tüketim genellikle artan gelir seviyeleri ve artan şehirleşmenin bir sonucu olarak düşmektedir. Burada artan gelir seviyeleri ve artan şehirleşme fosil yakıtların daha fazla kullanılmasına yol açan iki önemli faktördür. Sanayileşmiş ülkelerde ve özellikle büyük ağaç işleme endüstrilerine sahip ülkelerde, odun enerjisi hem evsel hem de endüstriyel amaçlar için önemli miktarlarda kullanılmaktadır (FAO, 2008).

Enerji ormancılığı planlamalarında iki çeşit uygulama bulunmaktadır. Bunlardan birincisi mevcut ormanlardan sürdürülebilir orman yönetimine uygun olarak biyoenerji eldesidir. Burada mevcut ormanlardan elde edilen biyoenerji hammaddeleri üç grupta toplanabilir: (1) birincil, (2) ikincil ve (3) artıklar (Berndes, 2011) (Şekil 2.1).

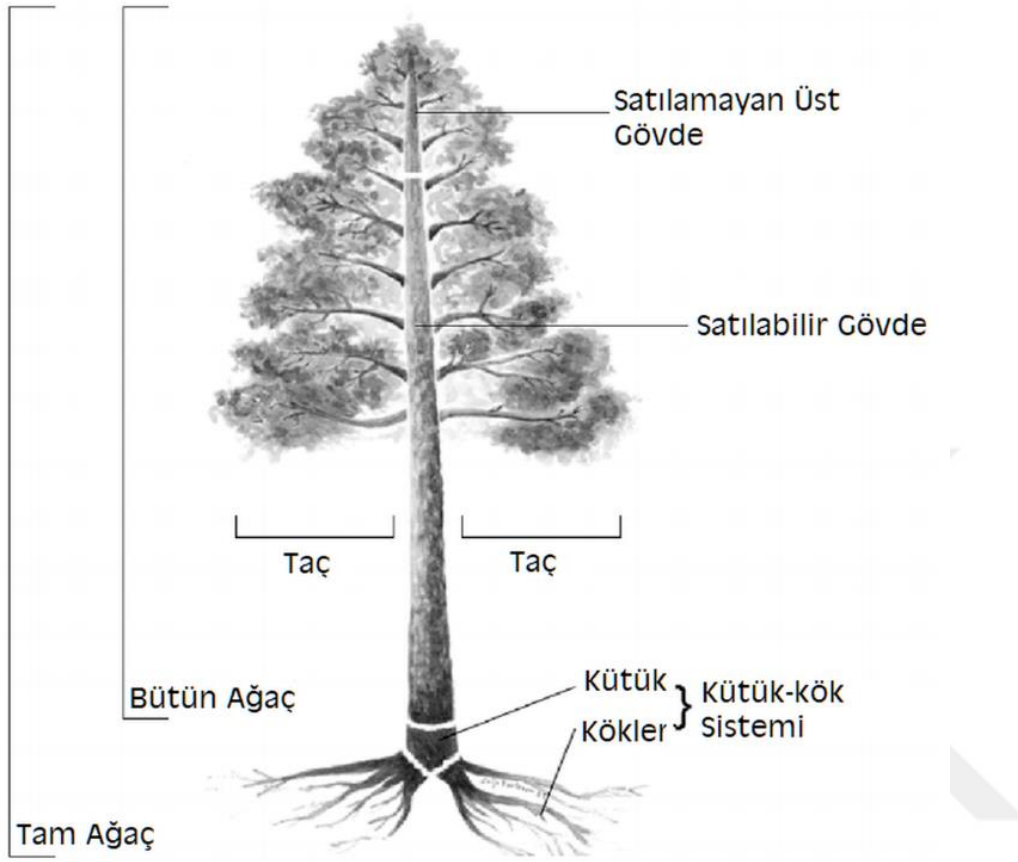


Şekil 2.1. Odun esaslı yakıt hammaddelerinin sınıflandırılması (Röser et al., 2008).

Bir ağacın tüm bileşenleri enerji eldesinde kullanılabilir. Ancak farklı ağaç türleri ve ağaç bileşenleri arasında kullanılabilirlik ve kalite açısından farklılıklar bulunmaktadır. Bir ağacın biyokütle bileşenleri Hakkila and Parikka (2002) tarafından tanımlanan sınıflandırma ile aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Tam ağaç, bir ağacın tüm yer üstü ve yer altı kütlesini ifade eder.
- Bütün ağaç (dolu ağaç), kütüğün üstündeki bir ağacın kütlesini ifade eder. Gövde ve taç kütlesi dahil edilir, ancak güdük-kök sistemi hariçtir.
- Gövde, gövde odunu ve gövde kabuğunu içerir ve pazarlanabilir ve pazarlanamayan kısımlara ayrılmıştır. Gövde, kütük ve onun yeraltındaki devamını içermez.
- Pazarlanamayan üst kısım (bazen basitçe "üst"), küçük çapı ve yüksek derecede dallanma nedeniyle kayıt işlemlerinde kullanılmadan kalan kısım; yani gövdenin üst bölümüdür. Sanayileşmiş ülkelerde, pazarlanamayan tepenin alt gövde çapı tipik olarak 6 ila 8 cm'dir, ancak bazı türlerde 20 cm olabilir. Doğal tropikal ormanlarda daha da büyük olabilir.
- Taç, tüm canlı ve ölü dalları, artı tüm yaprakları ve üreme organlarını içerir. Ancak bazı çalışmalarda ölü dallar taç kütlesine dahil edilmemiştir.
- Dallar, canlı ve ölü dalların odun ve kabuğunu içerir, ancak yapraklar, sürgünler ve üreme organlarını içermez.
- Yeşillik, tüm yaprakları veya iğneleri, yeni sürgünleri ve üreme organlarını ifade eder. Bazı çalışmalarda üreme organlarının ayrı bir biyokütle bileşeni olduğu düşünülmektedir.
- Kütük, pazarlanabilir gövdenin dibinin altındaki kullanılmamış yer üstü biyokütlesi ve ana kök dahil yer altı projeksiyonudur. Yanal kökler hariçtir.
- Kütük-gövde sistemi, pazarlanabilir gövdenin ve tüm köklerin altındaki kütüktür.

- Kökler, tüm yan veya yan kökleri içerir, ancak ana kökleri içermez (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Bir ağacın bütün biyokütle bileşenleri (Hakkila and Parikka, 2002; Röser et al., 2008).

Mevcut ormanların biyoenerji amacı ile yönetilmesi tüm dünyada zaten gerçekleştirilen bir seçenektir. **Ancak günümüzde ulaşılması hedeflenen, kısa çevrimli ağaçların yetiştirildiği orman plantasyonlarının kurulması ve ağacın tüm biyokütle bileşenlerinden (Şekil 2.2) sürdürülebilir bir şekilde yararlanılmasıdır (Andersson et al., 2002).**

Kısa çevrimli veya rotasyonlu ormancılık, hızlı büyüyen ağaç türlerinin yüksek yoğunluklu, sürdürülebilir plantasyonlarının marjinal arazilerde, atıl kalmış tarım arazilerinde veya verimli veya verimsiz bozulmuş orman arazilerinde odunsu biyokütle veya sıvı veya gaz yakıt ürettiği silvikültürel uygulama olarak tanımlanmaktadır. Ağaçlar, 30 yıldan az bir rotasyon süresi ve yıllık odunsu üretimi en az 10 ton kuru madde veya hektar başına 25 m³ olan tek gövdeli veya baltalık sistemler halinde yetiştirilir. Burada dikkate değer olan, enerji ormancılığı için de

kullanılan kısa çevrimli ormancılığın, biyolojik, fiziksel, teorik ve pratik bilginin uygulanması yoluyla doğal kaynakların kullanımını çevresel ve ekonomik olarak optimize etmesidir (Landsberg et al., 1997). Üretilen biyokütle, inşaat, kâğıt hamuru ve kâğıt, yem ve enerji için kullanılmaktadır. Kısa çevrimli ormancılıktan elde edilen odun, tropikal ormanlardan ve korunan orman alanlarından elde edilen odunun yerini alabilir ve böylece gelecek nesiller için değerli doğal ormanların korunmasına yardımcı olabilir (Christersson and Verma, 2006).

Enerji ormancılığının da içinde değerlendirildiği kısa çevrimli ormancılık uygulamalarında en sık kullanılan türlere söğüt (*Salix* spp., örn. İsveç, Büyük Britanya), kavak (*Populus* spp., örn. İtalya) ve okaliptüs (*Eucalyptus globulus*, örn. İspanya ve Portekiz) örnek verilebilir. Bununla birlikte, arazi özelliklerine bağlı olarak, diğer türler de iyi verim verebilir. Kuzey Avrupa'da, sulanan arazilerde yaygın olarak söğüt ve kavak yetiştirilmektedir. Bunun yanı sıra, Fransa'da yakın zamanda, yazların daha sıcak hale geldiği mevcut arazilerde, değişen yoğunlukta su stresine maruz kalınan koşullar altında beyaz çiçekli yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) ve okaliptüs daha etkili olmuştur. Gerçekten de kuru alanlarda, *R. pseudoacacia* türünün söğüt veya kavak gibi daha fazla biyokütle ürettiği ve daha iyi su kullanım verimliliğine sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu tür, aynı zamanda besin içeriği olarak fakir olan topraklarda iyi büyür ve onu azot fiksasyonu yaparak toprağı zenginleştirmeye yardımcı olabilir (INRA, 2020).

Enerji ormancılığı ile ilgili 1977 yılının temmuz ayında Virginia, Airlie'da uluslararası bir panel toplanmıştır. Bu panelin düzenlenmesinden önce ise birkaç yüz bitki bilimcisi ve ormancıya, gelişmekte olan dünyada önemli yakacak odun kaynakları olabilecek türler için önerilerini soran bir anket çalışması gönderilmiştir. 1200'den fazla aday türün bulunduğu anket çalışmasında yaklaşık 150 tür yanıtına ulaşılmıştır. Bu yanıtlarda yer alan 1200 türün potansiyel olarak değerli yakacak odun mahsulü olduğu ve daha fazla araştırmayı hak ettiği panelde ayrıca kararlaştırılan hususlardan olmuştur (National Research Council, 1980b).

Enerji ormancılığı odundan enerji üretiminin yanı sıra enerji ormancılığı kapsamında yetiştirilen türlerden çok amaçlı şekilde yararlanmayı gerektirmektedir. 1977 yılında gerçekleştirilen panelde de vurgulandığı üzere enerji ormancılığında aranan özellikler (National Research Council, 1980b):

- Yakıt sağlamanın yanı sıra çok amaçlı kullanımı olan tesislerin kurulması;

- Farklı alanlara iyi uyum sağlayan, kolayca yetiştirilen ve çok az bakım gerektiren türlerin kullanılması;
- Dik tepeler, kurak bölgeler ve tropikal yaylalar ve düşük besinli veya toksik topraklar gibi sorunlu ortamlarda yetişen türlerin kullanılması;
- Keçiler ve yaban hayatı tarafından tüketilmeyen türlerin tercih edilmesi şeklindedir (National Research Council, 1980b).

Enerji ormancılığı kapsamında kullanılabilecek türler ile ilgili ise istenen özellikler; bu türlerin (1) karbon yutak potansiyelinin yüksek olması, (2) azot sabitleme yeteneği, (3) hızlı büyümesi, (4) baltalık becerisinin olması, (5) kıvılcım veya zehirli duman olmadan yanan yüksek kalorifik değere sahip odun üretme yeteneği ve (6) farklı rakımlar, toprak türleri, yağış rejimleri, güneş ışığı miktarları ve arazi dahil çok çeşitli ortamlarda başarılı bir şekilde büyüme yeteneğine sahip olmasıdır (National Research Council, 1980b). Bahsedilen tüm bu hususlara göre enerji ormancılığının bugün sürdürülebilir kalkınma kapsamında yer alan tüm konular ile ilişkili olduğu gayet açıktır. Çizelge 2.1’de, enerji ormancılığı ve orman biyokütle enerjisi ile sürdürülebilir kalkınma hedefine sahip uluslararası anlaşmalar arasındaki ilişki, detayları ile verilmektedir.

Çizelge 2.1. Orman biyoenerjisi ile uluslararası sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişki (Lunnan et al., 2008).

Konu	Anlaşma(lar)	Orman biyoenerjisi ile ilişkisi
İklim Değişikliği	-İklim Değişikliği Sözleşmesi -Kyoto Protokolü	Taraflar enerji ve ulaşım sektörlerinden kaynaklı sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve önlemeyi taahhüt ederler.
Sürdürülebilir Orman Yönetimi	-Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı Orman Prensipleri Beyanı -Avrupa Ormanları Koruma Yerel Yönetimler Konferansı -Montreal Prosesi	Orman biyoenerjisinin eldesi, sürdürülebilir ormancılık yönetiminin prensiplerine, orman üretkenliği, sağlığı ve yaşamına uymalıdır. Ayrıca biyoenerjinin eldesinde ormanın ekosistem, toprak ve su ile ilgili fonksiyonları korunmalıdır. Enerji amacıyla tahsis edilen ağaç yetiştiricilik alanları ile oluşturulan orman arazileri, birincil ormanların yerine geçmemeli ve buradan elde edilen ürünlerin ve orman hayatının sürdürülebilirliği korunmalıdır.

Çizelge 2.1 (devamı). Orman biyoenerjisi ile uluslararası sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişki (Lunnan et al., 2008).

Konu	Anlaşma(lar)	Orman biyoenerjisi ile ilişkisi
Biyolojik Çeşitlilik	Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD)	Orman biyoenerjisi eldesinde, var olan ormanların korunması biyoçeşitliliği olumsuz şekilde etkilemeyecektir. Enerji amacıyla tahsis edilen ağaç yetiştiricilik alanları ile oluşturulan orman arazileri, biyoçeşitliliğin gelişimine katkıda bulunabilmektedir.
Çölleşme	Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (UNCCD)	Orman biyoenerjisinin ve enerji ormancılığının gerçekleştirildiği alanlardan elde edilen hammadde ve üretilen yakıtlar, yenilenebilir enerji kullanımını arttıracak ve fosil yakıtların kullanımı ile birincil ormanların yakıt amaçlı kesilmesini önleyecektir; bu şekilde çölleşmeye karşı hassas olan alanların korunması sağlanacaktır.
Emisyonlar ve uzun vadede sınırlararası kirlilik	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Uzun vadede sınırlararası hava kirliliği sözleşmesi	Odun yakılmasının atmosferik emisyonları arttıracığı ile ilgili endişeler bulunmaktadır. Bu endişelerin giderilmesi, doğrudan yakmada kullanılacak teknolojinin gelişmişlik seviyesine veya enerji ormancılığının doğru planlanmasına göre değişmektedir.

Enerji ormancılığında da kullanılan kısa çevrimli ormancılık uygulamaları bazı ülkeler tarafından benimsenmiştir. Enerji ormancılığı ile biyokütle enerjisi üretimi amacıyla seçilmiş Söğüt (*Salix*) türlerinin kısa çevrimli ormancılık plantasyonları ve baltalık sistemlerdeki hibritler 1973 ve 1979'daki petrol krizlerinden sonra İsveç'te uygulanmıştır (Sirén et al., 1983). Fosil yakıtların yerini alacak bu tür kısa çevrimli ormancılığın başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlayan faktörler arasında, İsveç'te hemen hemen tüm kasaba ve köylerde iyi gelişmiş bölgesel ısıtma sistemlerinin varlığı ve halihazırda yaygın olan odun enerjisi kullanımı (tüm enerjinin %20'sine kadar) yer almaktadır. Diğer itici güçler arasında, ithal edilen petrol ve gazın yüksek maliyeti ve fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının sera etkisi ile ilgili endişeler bulunmaktadır (Christersson and Verma, 2006).

Hindistan'da doğal ormanların kesimine getirilen kısıtlamaların sonucu olarak hızlı büyüyen, kısa çevrimli orman plantasyonları, odun esaslı sektörler için ana hammadde kaynağı olarak ortaya çıkmıştır. Hindistan Hükümeti, 1961 gibi

erken bir tarihte, tüm ağaç türleri için arz ve talep arasındaki boşluğu fark ettiğinden dolayı orman ağaçlandırma faaliyetlerine önem vermeye başlamıştır. Chaturvedi (1998) tarafından gerçekleştirilen Hint endüstriyel plantasyonlarının bir incelemesinde, kısa çevrimli türlerin (örn. *Eucalyptus*, *Casuarina* ve *Populus* türleri) odun esaslı endüstriler için artan hammadde talebini karşılamak için yetiştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bunun yanı sıra ülkenin orta ve güneyinde bulunan plantasyonlarda *Tectona grandis* türüne yönelik yeniden bir ilgi gelişmiştir. Bu tür ile ilgili Hindistan'da yapılan araştırmalar bu tür gibi türlerin yetiştirildiği nispeten düşük girdi yönetimine sahip plantasyonlardan odun üretimi ve kereste mukavemetine odaklanmaktadır. Yine Hindistan'da yapılan bir diğer kısa çevrimli ormancılık faaliyeti *Gmelina arborea* türünün, ülkenin kuzeydoğusundaki nemli tropikal bölgelerde kağıt hamuru ve kağıt için başarıyla yetiştirilmesidir. Hindistan'da bazı hızlı büyüyen ve azot sabitleyen (legümen) ağaç türlerini içeren yüksek yoğunluklu, kısa çevrimli karışık plantasyonlar, yakıt ve yem için ve ayrıca saha iyileştirme ve biyokütle üretimi için uygun bulunmuştur. Ülkedeki örnekler arasında *Melia azedarach* ve *Eucalyptus* spp. ile *Leucaena leucocephala* melezleri ve subtropikal eteklerde *Acacia mollissima* ile *Robinia pseudoacacia* melezleri ve kuzeybatı Himalaya'nın yarı ılıman orta tepelerinde ise *Morus* spp. yer alır. *Prosopis juliflora* ve *Acacia nilotica* (9 ila 14 yıllık çevrimlerle) ise kuzey ve kuzeybatı ovalarında yakacak odun ve arazi ıslahı için uygundur (Christersson and Verma, 2006).

Kısa çevrimli ormancılık potansiyeline bir örnek daha, yaklaşık 4 milyon hektarlık arazinin son 50 yılda sığır yetiştirme endüstrisine alan sağlamak üzere ormansızlaştırıldığı güney Şili'nin Coihaique şehri çevresindeki Aisén bölgesinde bulunmaktadır. Sığır endüstrisi başarısız olduğu için, bu arazi, kısa çevrimli ormancılık için potansiyel teşkil etmiştir. Arazi daha önce güney kayınları (*Nothofagus* ve *Podocarpus* türleri) ve geniş yapraklı yaprak dökmeyen ağaçlar (örneğin, *Eucryphia* ve *Laurelia* türleri) dahil olmak üzere birçok farklı ağaç türünün geniş ormanlarına sahip olmuştur. Bölgede yıllık yağış (Arjantin sınırına yakın 300 mm, ancak kıyıya doğru 2000 mm'den fazla) ve sıcaklık, başarılı ağaç dikimleri için uygundur. Bu nedenle, ormansızlaştırılmış bu arazi, Şili'de kısa çevrimli ormancılık uygulamaları ve bu uygulamalardan elde edilecek ürünlerden faydalanılacak büyük bir potansiyele sahiptir (Christersson and Verma, 2006).

2.2 Kısa Çevrimli Ormancılık ve Karbon Tutma Potansiyeli

Bir tür ağaçlandırma uygulaması olarak değerlendirilebilecek enerji ormancılığı, odun ve enerji tedarikinin yanı sıra, iklim değişikliğini azaltmada önemli stratejilerden biridir ve toprak, su ve arazi ıslahı konularında katkılar sağlayarak topraktaki karbon ve azot depolamasını arttırabilmektedir (Chen et al., 2010; Keith et al., 2014; Dayamba et al., 2016; Chen et al., 2017; Reside et al., 2017; Aghbash, 2018). Ağaçlandırma çalışmalarında, farklı ağaç türlerinin karbon tutumu ve toprak verimliliği üzerindeki etkilerini araştıran çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Potvin et al., (2011) tarafından elde edilen bulgulara ve Nair et al., (2009) tarafından yapılan çalışmalara göre, ağaçlandırma projelerinin, farklı ağaç türlerinin seçilmesi veya arazideki ağaç türünün çeşitlendirilmesi durumunda bile karbon yutakları ve toprak karbon döngüsü üzerinde farklı ve olumlu etkileri bulunmaktadır. Snell et al., (2016) ise orman plantasyon türlerinin (kısa çevrimli ağaçlar gibi) karbon tutumunda önemli bir rol oynadığını ifade etmektedir. Wang et al., (2013) tarafından yapılan çalışmaya göre ise ağaç yetiştiriciliğinin toprak karbon birikimi üzerindeki etkileri, altlık kalitesi ve toprak besin elementlerinin durumundan etkilenebilir. Bu duruma örnek olarak Mirzaei et al., (2016) Batı İran'da tropikal ağaçlarla dolu bir plantasyonda ağaçların altındaki toprakta karbon tutma potansiyelinin ağaç yapraklarında olduğundan daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra yapılan bazı çalışmalar düşük toprak verimliliğinin toprak karbon tutumunu sınırladığını göstermiştir (Chen et al., 2010). Tropikal ormanlarda yapılan 81 çalışmayı analiz eden ve Marín-Spiotta and Sharma (2013) tarafından yapılan bir çalışmada ise tüm bu çalışmalardan farklı olarak karbon tutmada iklimin rolünün ormanın yaşından daha önemli olduğu öne sürülmüştür. Bu çalışmada ayrıca plantasyon türünün toprak karbon depoları üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Goodarzi et al., (2016) plantasyon uygulamalarında *Pinus eldarica* ve *Cupressus arizonica* türlerinin karbon tutumu üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada ifade edildiği üzere, ağaç türlerinin yanı sıra mera örtüleri de çıplak alanlara kıyasla yüksek bir karbon tutma potansiyeline sahiptir.

Aghbash (2018) tarafından yapılan çalışmada ise yaprak dökmeyen ve geniş yapraklı plantasyonlarda ağaç, toprak ve ağaç altı otun karbon tutulumu araştırılmıştır. Burada *Cupressus arizonica* Greene ağaçlarının ve altındaki toprağın karbon tutmasının (32.32 t/ha plantasyon; 11.15 ton/ha toprak-altı) *Ailanthus altissima* Mill. ağaçlarından (17.99 ton/ha plantasyon; 7.6 t/ha toprak altı) daha

yüksek olduğu belirlenmiştir. Burada belirtilen bir diğer husus ise toprak altı karbon depolama kapasitelerinin her durumda çıplak topraktan (5.28 ton/ha; kontrol toprağında) daha fazla olduğu gerçeğidir. Bu çalışmada, çalışma alanındaki *ailanthus* plantasyonunun altındaki otsuların zenginliğinin *Cupressus arizonica* altındakinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aghbash tarafından önerilen, yarı kurak bölgelerde yaprak dökmeyen ağaçlandırmanın etkinliği hakkında bilgi edinilmesi, orman yöneticilerinin uygun ağaç türlerini seçmeleri ve en iyi ekolojik yaklaşımı uygulayarak iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasıdır.

Sarkar et al., (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada *Melia azedarach* ağacının yüksek karbon depolama kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Ağacın yüksek karbon tutma potansiyelinin (10.72 ± 2.11 ton/ha) çevre sağlığının iyileştirilmesine katkıda bulunduğu da ifade edilmiştir. Ormancılık uygulamaları altında bu ağaç ile ilgili toprak özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, toprak pH'ında ve on yıllık ağacın altında elektriksel iletkenlikte önemli bir artış olduğunu ve bunun asitli toprakların ıslahında yararlı olduğunu göstermiştir. Bu ağacın, ormancılık uygulamalarında kullanılması ile yerel toplulukların geçim kaynaklarının iyileştirilebileceği, bu çalışmanın sonuçlarından biri olmuştur. Enerji ormancılığında da kullanılabilecek bu tür, yalnızca çevre sağlığını iyileştirme potansiyeline sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda kereste, yakacak odun, yem vb. çoklu kullanımları nedeniyle bölge çiftçilerine geçim güvenliği sağlama potansiyeline de sahiptir.

Buradan da görüldüğü üzere orman toprakları, küresel karbon bütçesinde önemli rol oynayan yüksek organik madde içeriği nedeniyle (Dey, 2005) yeryüzündeki en büyük karbon yutaklarından biridir (Jha et al., 2003; Sheikh et al., 2009; Sheikh et al., 2015). BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve ardından Kyoto Protokolü'nde de (van Vliet et al., 2003) Temiz Gelişim Mekanizmasına (*Clean Development Mechanism - CDM*) dahil edilmek üzere ormancılık alanlarının artırılması önerilmiştir. Ağaçlandırma, karasal ekosistemlerde C tutumu için uygulanabilir seçeneklerden biri olarak kabul edilmektedir (IPCC, 1999; Lamb et al., 2005). Ağaçlandırma yoluyla tahmin edilen C tutma potansiyeli 1999 yılında örneğin, Norveç'te 3 Tg/yıl, Yeni Zelanda'da 6 Tg/yıl, İsveç'te 9 Tg/yıl, 107 Tg/yıl, Rusya ve ABD'de 117 Tg/yıl şeklindedir (IPCC, 1999). Plantasyonların doğru tasarımı ve yönetimi, biyokütle birikim oranlarını arttırarak, onları daha etkili karbon yutucular haline getirebilmektedir. Örneğin, Sheikh et al., (2015) tarafından yapılan çalışmada *L. leucocephala* gibi

azot sabitleyici türler içeren plantasyonların, C tutumunu artırmak için ek bir potansiyele sahip olabileceği ifade edilmiştir. Azot birikiminin orman karbon tutumu üzerindeki etkileri tahmini olarak 0.1 ila 2.3 Pg karbon/yıl arasında değişmektedir (Peterson and Melillo, 1985; Townsend et al., 1996; Holland, 1997). Azot birikiminin ormandaki karbon tutumu üzerindeki etkilerine ilişkin tahminler doğruysa, karasal karbon yutağı, azot birikimi arttıkça önümüzdeki yüzyılda da devam edebilir (Sheikh et al., 2015).

Son et al., (2014) tarafından yapılan bir araştırmada *Robinia pseudoacacia* ağacının bir şehrin karbon salımını nasıl değiştirdiğine değinilmiş ve çok amaçlı kullanımının etkileri incelenmiştir. Hızlı büyüyen bir ağaç olan *R. pseudoacacia*'nın CO₂ tutumu, diğer hızlı büyüyen ağaçlara göre (fırın kuru ağırlığının spesifik yoğunluğu açısından; *Populus euramericana* 0.34 g/cm³, *Alnus japonica* 0.52 g/cm³) nispeten yüksektir (fırın kuru ağırlığının spesifik yoğunluğu açısından; 0.74 g/cm³). Bu çalışmada belirtilen bir diğer husus ise *Robinia pseudoacacia* çiçeğinin, sadece Güney Kore'de, arı çiftçilerine (2010 itibariyle) yılda 300 milyar won'un üzerinde gelir getiren önemli bir nektar kaynağı olduğudur. Yapılan çalışmada bu tür, hem karbon yutağı ve enerji eldesinde hammadde hem de nektar kaynağı olarak ifade edilmiştir. Dagar and Tomar (2002) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın tuzlu alanları üzerinde durarak bu alanların iyileştirilmesine yönelik incelemelerde bulunmuştur. *Parkinsonia aculeata*, *Acacia farnesiana* gibi türlerin tuzlu ve su basmış alanlarda da rahatlıkla yetiştirilebileceğini ifade eden çalışma, bu türlerin kısa çevrimli olması sayesinde hızlı büyüme oranına sahip olduğunu ve kısa zamanda arazi rehabilitasyonuna katkı sağlayabildiğini belirtmektedir.

Karbon tutumu ve toprak iyileştirme özellikleri konusunda enerji ormancılığı ve tabiki ormanlaştırma ile ilgili bahsedilebilecek bir diğer çalışma da Aishan et al., (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada belirtildiği üzere iklim değişikliği etkisinin azaltılması bağlamında Çin'de, ormanlarda karbon yönetimi, 21. yüzyılın ilk yarısının en önemli gündemi haline gelmiştir. Kuzeybatı Çin'in kurak bölgesindeki iç nehir havzası ekosisteminin ana üreticisi olan çöl nehir kenarı ormanı, bölgesel ortamı korumakta ve aynı zamanda bölgesel / küresel karbon döngüsünün düzenlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu bölge, korumasını tamamen *Populus euphratica* türünden almaktadır. *Populus euphratica* Oliv. Orta Asya'nın aşırı kuru alanlarında Tugai bitki örtüsünün (ağaçlar, çalılar ve bitkilerden oluşan) baskın ağaç türüdür ve Tarım Nehri Havzasındaki ana biyokütle rezervuarı

ve doğal karbon yutağını oluşturur (Thevs et al., 2012; Buras et al., 2013). Tarım Nehri boyunca mevcut taşkın yatağı ormanlarının % 90'ından fazlası *P. euphratica* nehir kıyısı ormanlarıdır (Song et al., 2000; Huang, 2002). Yapılan çalışmada, bu türün, karbon depolamasına, kum ve toz fırtınalarının azaltılmasına, çölleşmenin hafifletilmesine ve lokal iklimin düzenlenmesine katkıda bulunmasının yanı sıra orman ürünleri ve enerji eldesi ile insan refahını da sağladığı ifade edilmiştir (IPCC, 2006).

2.3 Enerji Ormancılığında Uygun Alanların Seçilmesi: Konumsal Çok Kriterli Karar Analizi

Kısa çevrimli ormancılık ve dolayısıyla enerji ormancılığı, yukarıda belirtilen birçok özelliği ile görüldüğü gibi, arazi sahipleri ve toplum tarafından talep edilen çevresel, ekonomik ve sosyal hedeflerin çoğuna ulaşma potansiyeline sahiptir. Peyzaja yapısal ve işlevsel çeşitlilik ekleyen bu ağaç temelli yetiştiricilik faaliyetleri, tahsis edildiği görece az miktardaki araziden çok daha büyük önemi olan ekolojik işlevleri yerine getirebilmektedir (Guo, 2000; Nair, 2001; Ruark et al., 2003). Bu potansiyelin farkına varacak şekilde, farklı durumlarda hangi fırsatların, sınırlamaların ve kazanımların mevcut olduğunu belirlemek ve bunlar arasında en iyi dengeyi sağlamak için enerji ormancılığı uygulamasını konumsal olarak planlanmak ise karmaşık bir iştir (Ellis et al., 2004; Röser et al., 2008).

Ormancılık, otlatma alanı ve su kaynakları gibi çok çeşitli doğal kaynakların yanı sıra enerji eldesi ve kereste temini yönetimini içerir. Orman yönetimi, hasat ve rekreasyon alanlarının yönetimini ve nesli tükenmekte olan türlerin ve arkeolojik alanların korunmasını ayrıca dikkate almaktadır. Orman yönetimi kararları genellikle birden çok kritere sahip olup birden çok hedefi barındırmaktadır (Aronoff, 1995; Kazana et al., 2003; Mohren, 2003). Orman yönetimi sürecine dahil olan veri ve bilgi miktarı genellikle çok yüksektir. Bütünleşmiş karar destek sistemleri, orman yöneticilerinin orman ekosistemi yönetimi veya ormanlaştırma hakkında tutarlı bir şekilde etkili kararlar almalarına yardımcı olur (Potter et al., 2000). Önceki orman yönetimi yaklaşımlarıyla karşılaştırıldığında, yeni orman yönetimi stratejileri, CBS, uzaktan algılama ve karar destek sistemleri gibi mekansal bilgi teknolojilerinin entegrasyonunu gerektirir (Franklin, 2001; Temiz and Tecim, 2016).

Ormancılık senaryolarının birçoğunda, karar verme sürecine ekonomik, çevresel, sosyal vb. gibi çok farklı türde kriterlerin dahil edilmesi konusunda zorunlu bir ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun temel nedeni, modern toplumların orman sistemlerinden çeşitli türlerde mal ve hizmetler talep etmesidir. Bu nedenle, ekonomik karlılık, enerji eldesi ve biyolojik çeşitliliğin korunması, bir dereceye kadar çelişkili olmalarına rağmen talep edilen özelliklerin küçük bir örneğini oluşturur. Kısa çevrimli ormancılık senaryolarında ise ekonomik karlılığın, enerji eldesinin, karbon tutum mekanizmasının ve biyoçeşitliliğin korunması asgari şartlarda dengede tutulabilir (Ortiz-Urbina et al., 2019).

Enerji ormancılığı gibi ormancılık uygulamalarına birden çok kriterin dahil edilmesi, pek çok teorik ve başarılı uygulamayla birlikte köklü bir alan halini alabilecek potansiyele sahiptir (Diaz-Baltero and Romero, 2008; Belabenutti et al., 2018). Çok kriterli karar analizi gibi uygulamaların, ormancılığın konumsal olarak planlanmasındaki yeri ise son 20 yılda giderek artmıştır (Ortiz-Urbina et al., 2019). Makaleler genel olarak **ormancılık uygulamaları** (Pukkala, 1998; Tecle et al., 1998; Zadnik Stirn, 2006; Grošelj et al., 2015); **sürdürülebilirlik** (Mendoza and Prabhu, 2000; Diaz-Balteiro et al., 2017); **endüstriyel orman plantasyonları** (Laukkanen et al., 2004; Mikkilä et al., 2005; Kühmaier and Stampfer, 2012; Kühmaier et al., 2014; Diaz-Balteiro et al., 2016); **ormanların korunması** (Vacik and Lexer, 2001; Phua and Minowa, 2005; Valente et al., 2017); **ekosistem servisleri** (Store and Kangas, 2001; Leskinen et al., 2003; Segura et al., 2015); **sosyal problemler** (Mau-Crimmins et al., 2005; Kijazi and Kant, 2011); **biyoçeşitlilik** (Kangas and Kuusipalo, 1993; Regan et al., 2007; Oliver et al., 2007); **çevre** (Derak and Cortina, 2014; Ahmadi Sani et al., 2016; Wang and Du, 2016); **yollar ve altyapı** (Enache et al., 2013; Enache et al., 2015; Gumus, 2017); **iklim değişikliği** (Fürstenau et al., 2007; Lexer and Seidl, 2009; Seidl et al., 2011; Brudermann and Sangkakool, 2017); **kentsel problemler** (Srdjevic et al., 2013; Lakicevic et al., 2014); **restorasyon** (Kukrety et al., 2013; Uribe et al., 2014) ile ilişkilidir. İklim değişikliği ve ormancılığın konumsal olarak planlanması konularında, dünya genelinde toplam 4 makale bulunmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde çok kriterli karar analizi yöntemlerinden en çok Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır (toplam 78 makale).

Çok kriterli karar analizi ve ormancılığa yönelik olarak akademik veritabanında (Web of Science - WOS) toplamda 134 makale bulunmakta olup; bunların 30 tanesinde karar verme sürecinde bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

Bu 30 çalışmanın 15'inde ise **Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)** araçlarından yararlanılmıştır (Store and Kangas, 2001; Vacik and Lexer, 2001; Hytönen et al., 2002; Bojórquez-Tapia et al., 2003; Phua and Minowa, 2005; Tikkanen et al., 2006; Strager and Rosenberger, 2006; Greene et al., 2010; Zhang et al., 2013; Uribe et al., 2014; Kühmaier et al., 2014; Ahmadi Sani et al., 2016; Wang and Du, 2016). Çalışmalarda kullanılan kriterlerin seçimi ile ilgili olarak, 134 çalışmanın 33'ünde, kriterler önceden tanımlanmamış ve seçilmemiştir. 59 çalışmada kriterler, karar mekanizması ile etkileşim yoluyla belirlenmiş ve nihayet bu kriterlerin seçiminde fikir birliğine varılmıştır. Çalışmaların 42'sinde, kriter seçiminde kullanılan yöntem ilgili makalelerde belirtilmemiştir. İlgili kriterleri belirlemek için en sık kullanılan yaklaşım ise münazara yöntemi olmuştur; 27 makalede münazara tekniği ile fikir birliğine varılmıştır. Bu fikir birliği, gerçeği açıkça belirten farklı araştırmacılar tarafından sağlanan bilgilere dayanılarak elde edilmiştir. Ormancılık ve çok kriterli karar analizine yönelik çalışmalar içerisinde 1 kriter ile çalışma gerçekleştirildiği gibi 20 kriterin dahil edildiği çalışmalar da yapılmıştır (Ortiz-Urbina et al., 2019).

2.3.1 Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar analizi

Enerji ormancılığı, ormancılık ve kısa çevrimli ormancılık uygulamaları gibi konuları da içine alan çevre planlamaları ve yönetimi CBS'deki gelişmelerin ana motivasyon kaynağı olmuştur. Bu sistemler ilk olarak 1960'ların başında geliştirildiğinde, harita veri işleme için bir dizi yenilikçi bilgisayar tabanlı uygulamadan başka bir şey olmamasına rağmen; çok hızlı gelişim göstermiş ve bilgi teknolojisinin önemli bir unsuru haline gelmiştir (Franklin, 2001; Lo and Yeung, 2002; Temiz and Tecim, 2016).

Kleynhans et al., (1999) tarafından da belirtildiği gibi, CBS teknolojisinin gelişimi, büyük miktarlarda konumsal verilerin derlenmesini, depolanmasını, yeniden kullanılmasını, analiz edilmesini ve görüntülenmesini mümkün kılar. CBS kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşsa da en önemli uygulamalar karar destek mekanizmaları konusunda olmuştur. CBS teknolojisi hem coğrafya hem de bilgi sistemlerinin birleşik gücüne sahiptir; bu şekilde de etkili doğal kaynak yönetimi için ideal çözümler sağlamaktadır (Shamsi, 2005). CBS teknolojisi, sorgu ve istatistiksel analiz gibi yaygın veritabanı işlemlerini, haritaların sunduğu görselleştirme ve coğrafi analizle bütünleştirir. Bu yetenekler CBS'yi diğer bilgi sistemlerinden ayırmakta ve onu birçok uygulama için değerli kılmaktadır (Lang,

2001). CBS-ÇKKA entegrasyonunu içeren ilk çalışmalar 1980'lerin sonu ve 1990'ların başında yapılmıştır (Chakhar and Martel, 2003; Temiz and Tecim, 2016).

Mekansal çok kriterli karar problemleri tipik olarak, belirli değerlendirme kriterlerine göre bir veya daha fazla alternatifin seçiminin yapıldığı coğrafi olarak tanımlanmış bir dizi alternatifi içerir. Mekansal çoklu kriter analizi (CBS-ÇKKA), kriter değerleri ve alternatiflerin coğrafi konumları hakkında bilgi gerektirmesi açısından geleneksel çok kriterli karar analizinden (ÇKKA) farklıdır. Sonuçlar sadece niteliklerin coğrafi dağılımına değil, aynı zamanda karar vericilerin değer yargılarına da bağlıdır (Jankowski, 1995; Malczewski and Ogryczak, 1996). Carver (1991) ve Jankowski (1995) tarafından belirtildiği gibi, konumsal ÇKKA'nın iki önemli bileşeni CBS ve çok kriterli karar vermedir (Temiz and Tecim, 2016).

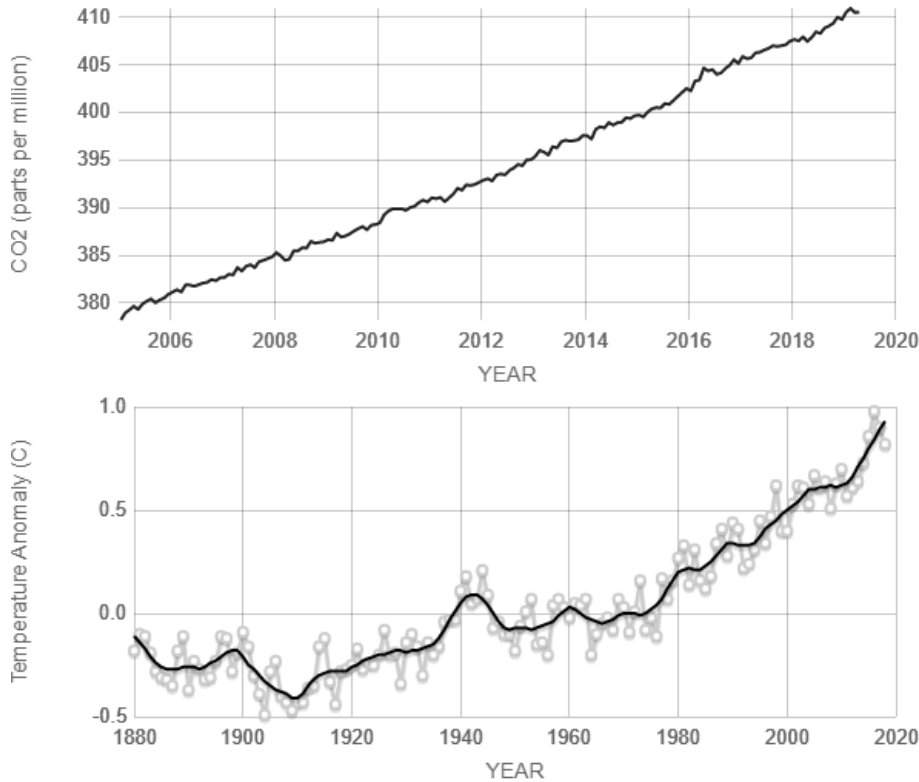
Birçok mekansal karar problemi, bu iki teknik birbiriyle etkileşime girebildiğinden, CBS ve ÇKKA'nın entegrasyonuna yol açar. CBS teknikleri, karar problemlerini analiz etmede önemli bir role sahiptir ve mekansal olarak referans verilen verileri problem çözme ortamına entegre eden karar destek sistemleridir. ÇKKA, karar problemlerini yapılandırmak ve alternatif kararları değerlendirmek ve önceliklendirmek için birçok teknik ve prosedür sağlar. CBS ve ÇKKA entegrasyonu, karar verme için bilgi elde etmek üzere karar vericilerin coğrafi verilerini ve değer yargılarını birleştiren bir süreç olarak düşünülebilir (Malczewski, 2006).

2.4 İklim Değişikliği ve Enerji Ormanlığı

İnsan etkinliklerinin, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını arttırarak doğal sera etkisini güçlendirdiği ve küresel boyutta sıcaklık artışına yol açtığı bütün iklim/çevre bilimciler tarafından kabul edilmektedir (Öztürk, 2002; Türkeş, 2007; Türkeş, 2008; Erhat, 2014; Aydın ve Sarptaş, 2018). İnsan faaliyetlerinin, sanayi öncesi seviyelerin üzerinde yaklaşık 1.0 °C'lik (muhtemelen 0.8 ° C ila 1.2 ° C aralığında) küresel ısınmaya neden olduğu tahmin edilmektedir. Küresel ısınma, mevcut hızla artmaya devam ederse 2030 ve 2052 yılları arasında ortalama sıcaklık artışının 1.5°C'ye ulaşması muhtemeldir (Hoegh-Guldberg et al., 2018; Türkeş ve Mutlu, 2018). Günümüzde meydana gelen ortalama sıcaklık artışı yaklaşık 1°C'dir (Türkeş ve Mutlu, 2018). IPCC, 2018 yılında özel bir rapor hazırlayarak 1.5°C'lik küresel ısınmanın sonuçlarını 5 ana başlıkta incelemiştir (Hoegh-Guldberg et al., 2018; Türkeş ve Mutlu, 2018). Rapora ve iklim bilimcilerin değerlendirmelerine

göre önümüzdeki 5 yıl içinde küresel ortalama sıcaklıkların 1.5°C artması, deniz seviyesinin yükselmesi, sıcaklık/yağış rejimlerinin değişmesi ile seller, taşkınlar, kuraklık, çölleşme ve biyolojik kökenli salgın hastalıklar gibi afet boyutlarına ulaşan çok değişik sonuçlara neden olacaktır (Öztürk, 2002; Türkeş, 2008; Aydın ve Sarptaş, 2018). IPCC' ye göre, özellikle Türkiye'nin de yer aldığı kırılgan konumda bulunan coğrafyalarda, karasal türlerin iklimsel olarak belirlenmiş olan coğrafi yayılışlarında değişikliklerin meydana gelmesi, 2°C 'lık sıcaklık artışı ile daha da olası hale gelecektir (Türkeş vd., 2013; Türkeş ve Mutlu, 2018).

Ulusal Atmosfer ve Okyanus Dairesi (NOAA) tarafından belirtildiği üzere Mauna Loa Gözlemevi'nde ölçülen Mayıs ayı atmosferik CO_2 emisyonu oranı 417.1 ppm (parts per million-milyonda bir parçacık)'e ulaşmıştır (Tans and Keeling, 2020). Küresel ortalama sıcaklık 1880'den beri yaklaşık 1.2°C artarken, bu artışın üçte ikisi 1975'ten beri gerçekleşmiştir. 1960'lardan bu yana her on yılda bir öncekinden giderek daha sıcak hale gelmiştir (NASA GCC-VSP, 2020; ESRI LA, 2020). Şekil 2.3'te yıllara göre CO_2 emisyonu ve küresel yıllık sıcaklık anomalisi (1951-1980 referans yılları) değerleri verilmektedir.



Şekil 2.3. Yıllara göre CO_2 emisyonu ve küresel yıllık sıcaklık anomalisi (1951-1980 referans yılları) değerleri (NASA, 2018).

Ekosistemlerin temel üreticileri olan bitkiler ise iklim değişikliğinin yarattığı/yaratacağı olumsuz etkilerden en fazla etkilenecek gruptur. Özellikle değişken ve tahmin edilmesi güç iklim deseni, ekstrem hava olayları, yüksek sıcaklık, kuraklık vb. sonucunda bitki türlerinin karşı karşıya olduğu %10 azalma riski, bitkilerin hassasiyetini giderek arttırmakta ve bu durum canlılar için ciddi boyutta bir tehdit oluşturmaktadır (Lane and Jarvis, 2007; Haşlak, 2007; Aydın ve Sarptaş, 2018). Türlerin iklimdeki değişikliğe ve buna bağlı olarak yağış, sıcaklık gibi değişen iklim parametrelerine farklı düzeyde ve farklı biçimde tepki vermesi, ekosistemlerin yapısının, üretkenliğinin ve coğrafi dağılışının bozulmasına neden olacaktır (Öztürk, 2002; Aydın ve Sarptaş, 2018). Bu durum bazı bitkilerin uyum sağlayabilmesine; bazılarının ise iklim değişikliği sebebiyle rekabete yenik düşmesine ya da bitki göçlerine neden olabilecektir (Türkeş vd., 2000; Denhez, 2007; Demir, 2009; Erlat, 2014; Türkeş, 2016; Aydın ve Sarptaş, 2018).

Bitki yayılışını etkileyen ekolojik koşullar büyük ölçüde o çevreyi oluşturan iklim ve toprak koşulları tarafından belirlenmektedir. Sıcaklık, yağış, ekstrem olaylar, CO₂ yoğunluğu ve okyanus dinamikleri gibi iklim değişikliği bileşenleri, doğrudan ya da dolaylı olarak biyoçeşitlilik bileşenlerini etkilemektedir (Bellard et al., 2012). Sıcaklık ve yağış gibi bileşenlerin, gelecekte, bitki doğal yayılış alanlarını ve bu alanların büyüklüğünü nasıl ve hangi ölçüde etkileyeceğinin araştırılması hem tarımsal hem de doğal bitki örtüsü biyoçeşitliliği alanlarında oldukça önemli hale gelmiştir.

Yukarıda bahsedilen hususlar da dikkate alındığında, doğal kaynakların ileri görüşlü şekilde idare edilebilmesi için planlama ve karar verme sürecinde iklim değişikliğinin olası etkilerinin açık bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu durum, özellikle, gelecek belirsizlikleri altında yönetilebilmesi için potansiyel uyum önlemleri öncesi hazırlık dönemlerinin (Maciver and Wheaton, 2005; Seidl et al., 2009) kilit bir unsur olduğu orman ekosistemlerinde geçerlidir (Bormann and Kiester, 2004; Millar et al., 2007). Bu nedenle, değişen çevre koşullarından kaynaklanan potansiyel risklerin ve belirsizliklerin kapsamlı bir analizi, herhangi bir orman yönetimi stratejisi için vazgeçilmez bir temeldir. Modern orman yönetimi, enerji üretimi ve karbon depolamadan biyoçeşitliliğe ve ormanların koruyucu işlevine kadar, orman ekosistemlerinin bir dizi ekolojik, ekonomik ve sosyal işlevi ve hizmetiyle ilgili olarak paydaşların çok sayıda hedefini ve çıkarını dikkate alacak şekilde gerçekleştirilmelidir (Kohm and Franklin, 1997; Millenium Ecosystem Assessment, 2005; Reynolds et al., 2007). Sonuç olarak, iklim

değişikliğinin birden fazla orman ürünü ve hizmeti üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerinin planlama ve karar verme aşamasında ele alınması gerekmektedir. Orman yöneticileri için çevresel değişiklikler, geleneksel planlama araçlarını geçersiz kılan yeni zorluklar oluşturmaktadır (örn. verim tablolarının oluşturulması, statik alan sınıflandırma sistemleri gibi). Pek çok durumda, orman üretim döngülerinin planlama projeksiyonları, mevcut olası gelecek senaryolarının senaryolarını bile aşarak, muazzam bir belirsizlik içermektedir. Bu durumda halihazırda önerilecek olan orman yönetimi ve ormanlaştırma stratejilerinin sağlıklı olabilmesi için iklim değişikliği altındaki riskleri ve fırsatları değerlendirebilmek adına, karar verme süreçlerinde iklim belirsizliklerini de ele alan konseptlerin oluşturulmasını gerektirmektedir. Başka bir deyişle, orman yönetimi konusu içindeki stratejilerin, hızla değişen iklim yönünden de "sürdürülebilir" olmaları sağlanmalıdır (Seidl et al., 2011).

İklim değişikliği etkilerinin projeksiyonlara eklendiği hassasiyet analizleri, yukarıda gerekliliği anlatılan çalışmalar için kavramsal bir alt yapı sunabilmektedir. Gıda güvenliği ve risk yönetimi gibi alanlardan (Füssel and Klein, 2006) ortaya çıkan hassasiyet analizi kavramı, son yirmi yılda iklim değişikliği araştırmalarına uyarlanmıştır (Watson et al., 1996; Kelly et al., 2000; McCarthy et al., 2001; O'Brien et al., 2004a; Füssel and Klein, 2006). Bir sistemin maruz kalma, duyarlılık ve uyum kapasitesi, iklim değişikliğine karşı hassasiyetin yaygın olarak kabul edilen ortak bileşenleridir (Adger, 2006). 2000'li yıllardan önce yapılmış çalışmalar, esas olarak iklim değişikliği etkilerinin genel değerlendirmeleri ile ilgili olmuştur (Watson et al., 1996; Kelly and Adger, 2000). Ancak yakın zamanda, genel değerlendirmelerin ötesinde, adaptasyon odaklı yaklaşıma ait iklim değişikliği araştırmaları ve hassasiyet analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmaların sayısı artmıştır (Füssel and Klein, 2006). Ormancılık ve ormanlaştırma kavramı ise bu konular altında incelenmesi açısından ilgi çekici hale gelmiştir (Seidl et al., 2011).

Kavramsal ilerlemelere rağmen bugüne kadar ormancılıkta teorik ve uygulama altında iklim değişikliğine ait hassasiyet analizleri oldukça sınırlı kalmıştır. Ormancılık ve ormanlaştırma uygulamalarına yönelik karar verme mekanizmalarının incelendiği çalışmalarda iklim değişikliği etkileri oldukça sınırlı bir şekilde ele alınmıştır. Hassasiyet analizleri tarım ürün bitkileri için daha fazla kullanılsa da (örn. Hijmans et al., 2001; Öztürk, 2002; Soylu ve Sade, 2012; Harfield and Prueger, 2015; International Center for Tropical Agriculture, 2017;

Aydın ve Sarptaş, 2018; Arenas-Castro et al., 2019; Peng et al., 2019; FAO, 2020) orman yönetimi ve ormancılık uygulamalarında ileriye yönelik kararların ve stratejilerin geliştirilmesinde iklim değişikliği etkileri yeterli ilgiyi görememiştir (Fürstenau et al., 2007; Lexer and Seidl, 2009; Seidl et al., 2011; Brudermann and Sangkakool, 2017; Seidl et al., 2011).

Son zamanlarda orman yönetimi ve ormancılık uygulamaları alanında yapılan bazı araştırmalar, potansiyel biyofiziksel iklim değişikliğinin yalnızca sosyal hassasiyete etkisine nitel olarak odaklanmıştır. Örneğin Parkins and MacKendrick (2007), Kanada, British Columbia'daki mevcut dağ çamı böceği salgınının değerlendirilmesinde hassasiyet kavramı kullanmıştır. Keskitalo (2008) paydaş anketine dayalı olarak kuzey İsveç'teki orman sektörünün iklim değişikliği hassasiyetini analiz etmiştir. Kıta ölçeğinde, kapsamlı bir hassasiyet değerlendirmesi ise Schröter et al., (2005) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada orman sektörü de dahil olmak üzere Avrupa'daki bölgeler ve sektörler arasındaki zayıf noktaların ilk karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir. Esas olarak uluslararası ölçekte politika yapıcılara hitap edilmesine rağmen, uygulamalı adaptasyon stratejileri geliştirme isteği halen sınırlı kalmaktadır (örn. düşük çözünürlükte mekansal analizler gerçekleştirme gibi). Bazı çalışmalar ise bu sınırlılığın ortadan kalkması açısından, bölgesel veya daha küçük alanlar ölçeğindeki karar verme süreçlerinde orman yönetiminde ve ormanlaştırma çalışmalarında (O'Brien et al., 2004b; Lundmark et al., 2008) hassasiyet değerlendirilmesinin uygun olduğunu ifade etmektedir. Buna bir örnek olarak Nitschke and Innes (2008) tarafından yapılan çalışma verilebilir. Bu çalışmada hassasiyet değerlendirmesine dayalı olarak akıllı-iklim yönetim stratejileri geliştirilmiştir. Ancak, çalışma alanı için en uygun kriter olarak yalnızca yangın riskine odaklanılmıştır. Görüldüğü üzere, hassasiyet değerlendirmesi kavramı ormancılıkta çok amaçlı uygulamaların genel ilkeleriyle uyumlu olmasına rağmen, bugüne kadar büyük ölçüde eksik kalmıştır (Seidl et al., 2011).

Hassasiyet analizini içeren konumsal iklim uygunluk modelleri önceden yapılmış çalışmalardan farklı olarak daha yüksek çözünürlüklerde konumsal analizler yapmayı önermektedir. İklim-bitki etkileşimleri, biyosfer geribesleme mekanizmaları ve iklim bileşenlerinin bitkilerin doğal yayılış alanlarındaki veya bitki yetiştiriciliğindeki etkilerine yönelik çalışmalar 1900'lü yılların başında başlamış; günümüzde gelişen teknoloji ile daha da kapsamlı bir hale gelmiştir. İklim-bitki uygunluk modellerinin temeli ise Rus bilim insanı botanikçi N.I.

Vavilov'a kadar dayanmaktadır (Hijmans et al., 2001). Orman yönetimi konusunda ise konumsal bitki-iklim uygunluk model çalışmaları tarım ürün bitkilerine göre sadece ülkemizde olmayacak şekilde tüm dünya genelinde daha azdır. 2006 yılında yapılan bir çalışma, Orta Avrupa'da mevcut *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* L., *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl., *Betula pendula* Roth. ağaçları için ağaç tür kompozisyonu, orman yapısı, yaprak alan indeksi, ekosistem karbon ve su dengesi, hasat mekanizmaları ve rejenerasyon stratejilerini iklim değişikliği etkisi altında simüle etmiştir. Çalışmada Climatic Research Unit's (CRU) tarafından üretilen iklim senaryoları ile European Centre, Hamburg, Germany (ECHAM 4) ve Hadley Centre, UK (HadCM2) iklim senaryoları kullanılmıştır. Toprak verileri ise Alman toprak haritasından elde edilmiştir. Çalışmada ÇKKA yöntemi tercih edilmiş ve AHP yöntemi ile öncelikler belirlenmiştir. Bu çalışmada farklı iklim senaryoları altında mevcut karışık ormanın karbon depolama potansiyeli, yer altı su reşarj oranı ve biyoçeşitliliği tahminlenmiştir. Burada ayrıca AHP çalışmasına katılan farklı paydaşların mevcut orman yönetimine etkisi de incelenmiştir. Paydaşların, karbon depolama, yeraltı su reşarjı, biyoçeşitlilik ve odun-kereste geliri konularını kıyaslamaları istenmiş ve öncelikleri belirlenmiştir. Kamu ormanı sahipleri, özel orman sahipleri ve çevre örgütlerinin oluşturduğu paydaş grubu tarafından karbon depolama ve yer altı su reşarjı en öncelikli olarak seçilmiş; diğer hususlar ise ortalama bir önem derecesinde kalmıştır. Belki de bu alanda yapılmış ve hem CBS-ÇKKA hem de iklim senaryolarının bir arada kullanıldığı bu tek çalışma, Fürstenau et al., (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının içerdiği alanda yapılan tek çalışma olan Fürstenau et al., (2007) yayını mevcut karışık ormanların yönetilmesine yönelik gelecek analizlerini içermektedir. Görüldüğü üzere geleceğe yönelik ileri görüşlü ormanlaştırma ve orman yönetimi uygulamaları için iklim senaryolarının entegre edildiği ve iklim senaryoları altında ormanlaştırılmış alanların gelecekteki karbon depolama potansiyellerinin ortaya konduğu herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. **Yapılan tez çalışması, kısa çevrimli ormancılık & ormanlaştırma altında incelenen enerji ormancılığı uygulamalarının CBS-ÇKKA yöntemi ile konumsal olarak planlanmasının ve ileri görüşlü bir yönetim hedefi altında iklim senaryolarının entegre edildiği bir iklim-bitki uygunluk modeli geliştirilmesi ile gelecek planlamalarının ve karbon depolama potansiyel değişikliklerinin bir araya getirildiği literatürdeki ilk çalışma olma niteliğini de taşımaktadır.** Verilen

literatür özetlerinden sonraki bölümlerde tez çalışmasına ait metodoloji ve sonuçlar verilerek gerekli tartışmalar yapılacaktır.



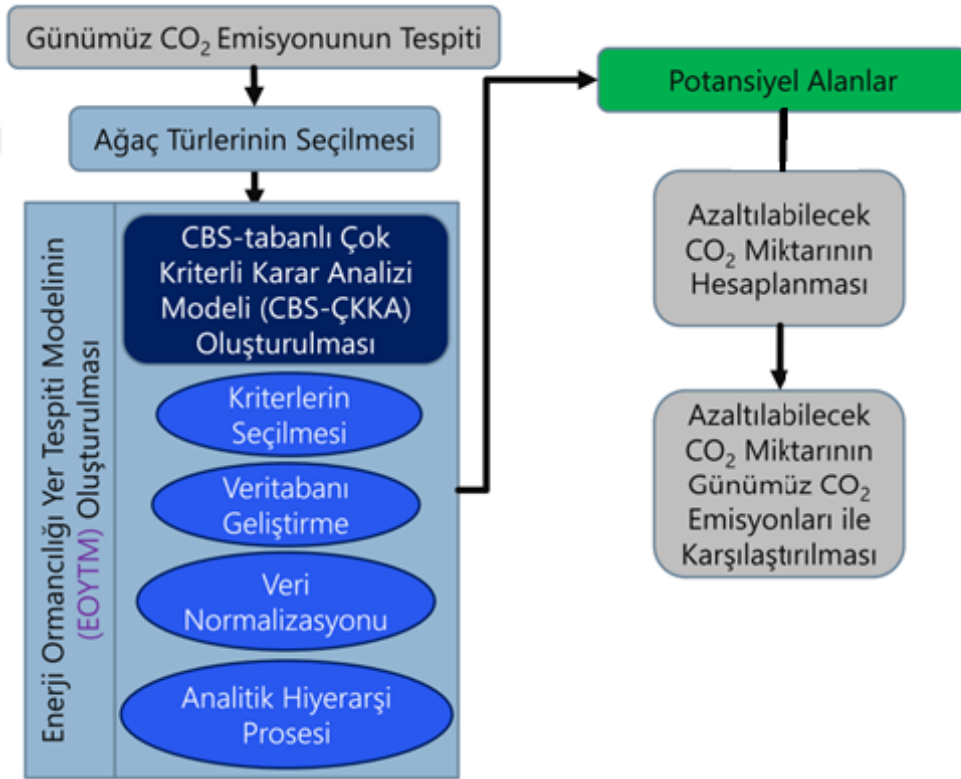
3 YÖNTEM

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak enerji ormancılığı uygulamaları önerilmektedir. Burada, ormanlaştırmadan kaynaklı karbon yutaklarının zenginleştirilmesine katkıda bulunacak enerji ormancılığı uygulama alanları, tez çalışması kapsamında geliştirilen metod ve seçilen model ağaçlar özelinde değerlendirilecek, bu ağaçların yetiştirildikleri birim alanda, karbon tutum özelliğine kavuştukları andan itibaren emisyon azaltımına sundukları katkı analiz edilecek ve niyet edilen ulusal katkı beyanlarına eklenebilecek uygunlukta emisyon azaltım katkısı analizleri yapılacaktır. Ağaçların yetiştirilebileceği alanların tespit edilmesi ve tespit edilen uygun alanlardan CO₂ emisyonunun azaltımı, günümüz döneminden itibaren tespit edildikten sonra gelecek periyoduna göre de ortaya konacaktır.

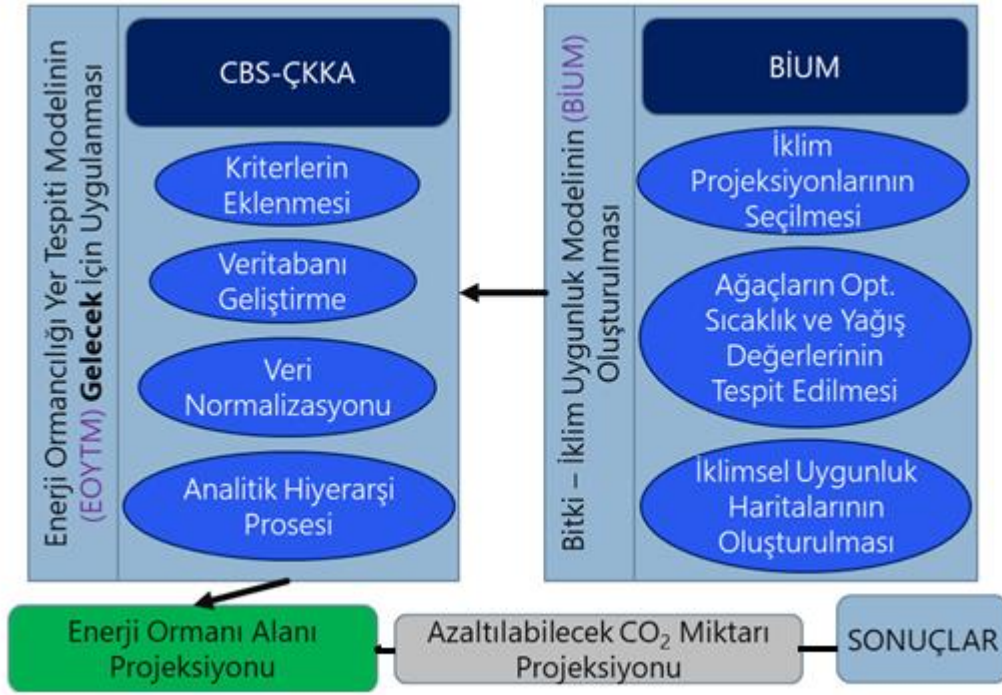
Enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının tespiti ile başlayan çalışma, ağaçların yetiştiriciliğine yönelik parametrelerin tespit edilmesi için literatür ve kaynak taraması ile devam etmiş ve bu aşamayı, enerji ormancılığında kullanılacak model ağaçların seçimi takip etmiştir. Ağaçların seçiminden sonra ise kapsamlı bir kriter listesi oluşturulmuş ve bu kriterleri baz alan bir veritabanı geliştirme süreci gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında, veritabanı geliştirme aşamasından sonraki süreçte, veriler, ilerideki aşamada geliştirilecek model içinde bir arada değerlendirebilmek için normalize edilmiştir. Normalizasyon/standardizasyon yaklaşımı, toprak verileri ve topoğrafya verileri için fuzzy standardizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve yağış parametrelerinin yer aldığı iklim verileri içinse farklı bir normalizasyon yaklaşımı izlenmiştir. Burada, çalışma kapsamında ele alınan bitkilerin ekolojik isteklerine göre sıcaklık ve yağış uygunluğunu ve dolayısı ile iklimsel uygunluğu konumsal olarak tespit eden bir model oluşturulmuştur (Bitki-İklim Uygunluk Modeli – BİUM). Bu şekilde, sıcaklık ve yağış uygunlukları, bitkilerin ekolojik özelliklerine göre oluşturulmuş ve iklimsel uygunluk, normalizasyon sonucu olarak elde edilmiştir. BİUM, hem referans periyot olan günümüz dönemi iklim verileri hem de gelecek periyodu olan seçilmiş iklim projeksiyonu verileri için her model ağaç özelinde iki kere çalıştırılmıştır.

Normalizasyonun yapılmasından sonra, seçilen model ağaçların yetiştiriciliğine yönelik, ülkemiz genelinde konumsal uygunluk analizlerinin yapılması için Enerji Ormancılığı Yer Tespit Modeli (EOYTM) oluşturulmuştur (CBS-ÇKKA yaklaşımı). Model, verileri normalize edilmiş toprak ve topografya faktörleri ile iklimsel uygunluk faktörünü ağırlıklandırılmış çakıştırma yaklaşımını esas almaktadır. Ağırlıklandırma prosedürü olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin uygulandığı tez çalışmasında, ağırlıklandırılmış tüm normalize/standardize faktörler çakıştırılarak; model ağaçların konumsal yetiştiricilik uygunluğu, farklı uygunluk sınıflarında elde edilmiştir. EOYTM, BİUM tarafından oluşturulan **günümüz** iklimsel uygunluk sonuçlarına ve **gelecek** iklimsel uygunluk sonuçlarına göre her model ağaç için iki kere uygulanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler, günümüze yönelik ve gelecek döneme/referans yıla yönelik olacak şekilde iki farklı diyagram ile Şekil 3.1 ile Şekil 3.2'de açıklanmaktadır. İki diyagramda da verilen CBS-ÇKKA yaklaşımında ve dolayısı ile EOYTM'de, toprak verileri ve topoğrafya verileri aynı olup ele alınacak döneme göre iklim verileri açısından farklılık bulunmaktadır.



Şekil 3.1. EOYTM'nin günümüze ait analizlerine ait diyagram: Burada günümüz CO₂ emisyonlarının belirlenmesinde enerji sektörü kaynaklı emisyonlar dikkate alınacaktır.



Şekil 3.2. EOYTM'nin gelecek referans yılına ait ve seçilen iklim senaryosu esas alınarak gerçekleştirilecek analizlerine ait diyagram.

Tez çalışmasının son bölümünü, günümüz döneminde uygun olan yetiştiricilik alanlarında ve gelecek dönemde uygun olacak yetiştiricilik alanlarında, model ağaçların karbon tutum özelliğine kavuştukları andan itibaren günümüzde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarını ne kadar tutabileceklerine yönelik analizler oluşturmaktadır. Burada, yetiştirildikleri birim alanda karbon tutum yeteneklerinin literatür araştırması ile ortaya konduğu model ağaçlar için niyet edilen ulusal katkı beyanlarına yardımcı olabilecek nitelikte karbon yutak potansiyeli analizleri yapılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında, bahsedilen bu ana yapıdan hariç olarak bazı ek analizler de gerçekleştirilmiştir. Bunlar iklimsel veriler özelinde gelecek periyodu ile günümüz periyodu arasındaki anomalilerin tespit edilmesi ve model ağaçların yakacak odun niteliklerinin araştırılarak ortaya konması şeklindeki çalışmalardır.

Tez Çalışmasında Kullanılan Yazılımlar: Çalışmada kullanılan yazılımlar kısa bilgileri ile şu şekilde tanımlanabilir;

- **ArcGIS 10.5;** ArcGIS, Environmental Systems Research Institute (ESRI) tarafından sağlanan, haritalar ve coğrafi bilgilerle çalışmak için geliştirilmiş

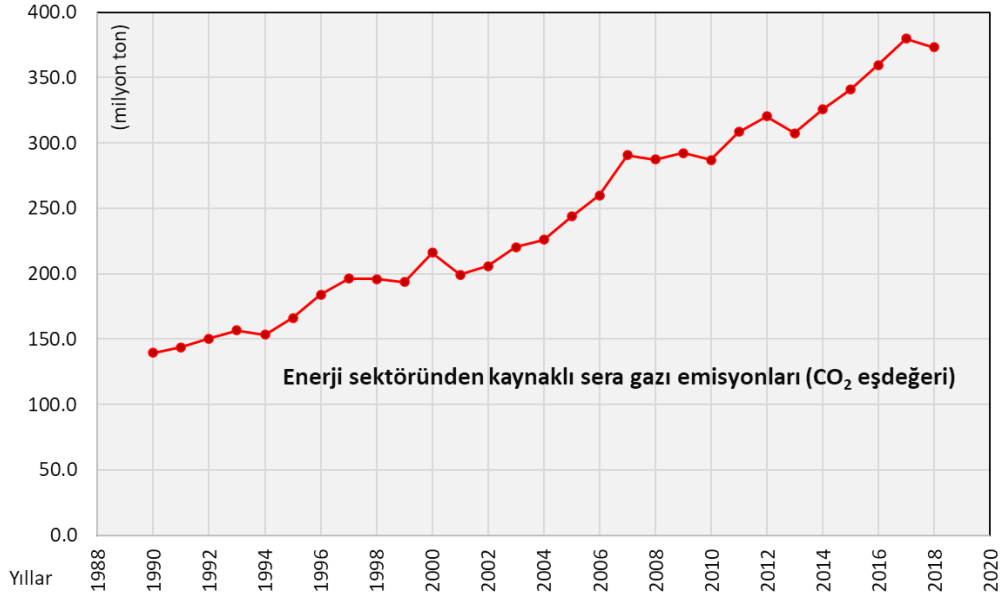
bir CBS yazılımıdır. Haritaları oluşturmak ve kullanmak, coğrafi verileri derlemek, eşlenen bilgileri analiz etmek, coğrafi bilgileri paylaşmak ve keşfetmek, çeşitli uygulamalarda haritaları ve coğrafi bilgileri kullanmak ve bir veritabanındaki coğrafi bilgileri yönetmek için kullanılan yazılım Ege Üniversitesi bünyesinde lisanslı bir şekilde kullanılmıştır.

- **Terrset;** TerrSet (eski adıyla IDRISI), dijital geo-uzamsal bilgilerin analizi ve görüntülenmesi için Clark Üniversitesi'nde Clark Laboratuvarları tarafından geliştirilen entegre bir CBS ve uzaktan algılama yazılımıdır. TerrSet, çevre yönetimi, sürdürülebilir kaynak geliştirme ve adil kaynak tahsisi için etkili ve sorumlu karar verme için yeryüzü sistemi dinamiklerini analiz etmekle uğraşan araştırmacılar ve bilim adamları için araçlar sunan, bilgisayar grid tabanlı bir sistemdir. Terrset tez çalışması kapsamında tüm sürümün lisansı için satın alınmıştır.
- **R;** R, istatistiksel hesaplama ve grafikler için R - Foundation for Statistical Computing tarafından desteklenen bir programlama dili ve özgür yazılım ortamıdır. R dili, istatistikçiler ve veri madencileri arasında istatistiksel yazılım ve veri analizi geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. R yazılımı ücretsiz olarak temin edilebilmektedir.

3.1 Enerji Sektörü Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Tespiti

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2020 yılında yayınlanan Sera Gazı Emisyon İstatistiklerine göre 2018 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %0,5 azalarak 520,9 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük emisyon kaynağı %71,6 ile enerji sektörü olmuş ve bunu sırasıyla %12,5 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,5 ile tarımsal faaliyetler ve %3,4 ile atık takip etmiştir (TÜİK, 2020). Şekil 3.3'te Türkiye'nin enerji sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarının 1990-2018 yılları arasındaki değişimi verilmektedir.

TÜİK verilerine göre sera gazı emisyonları içerisinde CO₂ emisyon artışını en fazla etkileyen sektör yine enerji sektörü olmuş; burada elektrik ve ısı üretimi başta olmak üzere fosil yakıtların birincil enerji kaynağı olması ülkemizin sera gazı emisyonlarını yıllar içinde arttıran en önemli unsur haline gelmiştir.



Şekil 3.3. Türkiye’de enerji sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonları (1990-2018) (TÜİK, 2020).

Tez çalışması kapsamında kullanılması için Çizelge 3.1’de TÜİK tarafından yayınlanan Sera Gazı Emisyon İstatistik verilerine göre 1990-2018 yılları arasında ülke genelinde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonları ve enerji sektöründeki CO₂ kaynakları detaylı bir şekilde verilmektedir (TÜİK, 2020).

Çizelge 3.1. TÜİK tarafından yayınlanan Sera Gazı Emisyon İstatistik verilerine göre 1990-2018 yılları arasında ülke genelinde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonları ve enerji sektöründeki CO₂ kaynakları (TÜİK, 2020).

CO₂ emisyonları, 1990 – 2018 (Bin ton)

CO ₂ Kaynakları	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enerji* (toplam)	129 882.3	156 827.1	204 511.0	232 408.6	270 819.8	291 845.2	304 431.7	292 913.6	309 259.0	329 781.9	345 297.9	366 897.6	359 818.8
Yakıt yanması	129 662.0	156 617.8	204 343.0	232 266.9	270 663.5	291 694.5	304 287.9	292 767.9	309 113.4	329 627.2	345 139.8	366 740.4	359 644.2
Çevrim ve enerji sektörü	37 130.3	50 297.9	77 502.7	89 665.8	112 091.5	123 668.6	124 752.8	119 519.1	130 128.0	133 503.4	142 679.4	153 557.1	157 443.3

Çizelge 3.1 (devamı). TÜİK tarafından yayınlanan Sera Gazı Emisyon İstatistik verilerine göre 1990-2018 yılları arasında ülke genelinde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonları ve enerji sektöründeki CO₂ kaynakları (TÜİK, 2020).

CO₂ emisyonları, 1990 – 2018 (Bin ton)

CO ₂ Kaynakları	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
İmalat sanayi ve inşaat	37 004.0	39 842.8	57 657.3	62 731.1	52 119.6	52 379.7	60 821.1	52 772.0	54 232.9	59 358.6	59 839.6	59 958.3	59 311.2
Ulaştırma	26 250.8	33 180.0	35 490.2	41 043.8	44 382.6	46 366.8	61 248.5	67 478.1	72 084.3	74 271.6	80 207.8	82 953.4	82 787.8
Diğer sektörler	29 276.9	33 297.2	33 692.7	38 826.2	62 069.8	69 279.4	57 465.5	52 998.7	52 668.2	62 493.7	62 413.0	70 271.6	60 101.9
Kaçak emisyonlar	220.2	209.1	167.8	141.6	156.2	150.5	143.7	145.5	145.5	154.6	157.9	157.0	174.5
CO ₂ taşıma ve depolama	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

* Enerji sektöründe, **yakıt yanması, kaçak emisyonlar, CO₂ taşıma ve depolama** başlıca CO₂ kaynakları olarak listelenmiştir. Yakıt yanması ise (1) çevrim ve enerji sektörü, (2) imalat sanayi ve inşaat, (3) ulaştırma ve (4) diğer sektörler olarak sınıflandırılmıştır.

3.2 Enerji Ormancılığı İçin Model Alınan Ağaçların Seçilmesi

Enerji ormancılığında yetiştiriciliği yapılacak model ağaçların seçiminde hızlı büyümesi, besin istekleri açısından kanaatkâr olması, ekstrem hava/iklim olaylarına dayanıklı olması, farklı toprak tipleri üzerinde yetişebilmesi, karbon tutum potansiyelinin yüksek olması ile katı, sıvı veya gaz yakıt olarak kullanılabilmesi hususları öncelikli olarak dikkate alınmıştır (El Bassam, 2010).

Enerji ormancılığında kullanılacak ağaçlar ile ilgili dikkat edilmesi gereken başka bir husus da bu ağaçların yüksek riskli istilacı tür olup olmadıklarının

bilinmesidir. Avrupa’da ve bazı ülkelerde enerji stratejilerinin gereği olarak enerji bitkileri ve enerji ormancılığına ağırlık verilmektedir. Bu ülkelerde biyoyakıt üretimi amaçlı yetiştirilen bitkilerin istilacı türler de olabildiği görülmektedir. Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Organizasyonu (*the European and Mediterranean Plant Protection Organization- EPPO*) bu bitkilerin yetiştirilmesine karşı birtakım uyarılarda bulunmaktadır. EPPO, bu bitkilerin enerji üretimi amacıyla geniş ölçekte yetiştirilmesine yönelik uygulamaların başka türlerin habitatları açısından risk oluşturacağını savunmaktadır. Bu sebeple de yüksek risk barındıran istilacı türlerin (*invasive alien species*) enerji üretimi amaçlı yetiştirilmemesini önermektedir. EPPO’ya 1958 yılından beri bakanlık seviyesinde üyeliği bulunan ülkemizde de 2016 yılında yüksek risk içeren istilacı türlerin bir listesi hazırlanmış ve bu bitkilerin yetiştirilmesinin yasak olduğu belirtilmiştir (özellikle *Xylella fastidiosa* bakterisinin bulunduğu ülkeler bu bitkilerin orijini ise) (EPPO, 2018). Çizelge 3.2’de tez çalışması kapsamında seçilen ve yukarıda verilen tüm nitelikleri barındıran model ağaçların listesi verilmektedir. Model ağaçların seçimi sırasında Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü’nden Dr. Hidayet Karakurt ile uzun fikir geliştirme toplantıları yapılmış ve sonuç olarak Çizelge 3.2’deki ağaçlar belirlenmiştir. Bu bitkiler yetiştirilmesi yasak olan bitkiler listesinde bulunmamaktadır.

Çizelge 3.2. Model ağaçlar; Latince adları, yaşam süresi ve türün bulunduğu aile adı (ECOCROP, 2018).

Adı	Latince Adı	Yaşam süresi	Ailesi
Beyaz çiçekli yalancı akasya	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Çok Yıllık	<i>Leguminosae</i> (Legümen)
İbrişim Akasya	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Çok Yıllık	<i>Leguminosae</i> (Legümen)
Kokarağaç	<i>Ailanthus altissima</i> L.	Çok Yıllık	<i>Simarubaceae</i> (Kokarağaçgiller)
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Çok Yıllık	<i>Leguminosae</i> (Legümen)
Tespih Ağacı	<i>Melia azedarach</i> L.	Çok Yıllık	<i>Meliaceae</i> (Tespihağacıgiller)
Fırat Kavağı	<i>Populus euphratica</i> Oliv.	Çok Yıllık	<i>Salicaceae</i> (Söğütgiller)

3.2.1 *Robinia pseudoacacia* L. (Beyaz Çiçekli Yalancı Akasya)

Robinia cinsi, Kuzey Amerika ve Meksika'ya özgü olarak yaklaşık 10 tür barındırmaktadır. *Robinia* adı, Fransa kralının herbalistleri olan ve akasyayı ilk defa Avrupa'da yetiştiren Jean Robin (1550-1629) ve oğlu Vespasian Robin (1579-1662) tarafından adlandırılmıştır (Holzarten Lexikon) (BitkiVT, 2018). Ülkemizde, demiryollarında kullanılmış olması sebebi ile Anadolu'da **Cumhuriyet** ağacı olarak da bilinir (ÇEKÜL, 2020).

Günümüzde florikültür için kullanılan *Robinia* cinsini içeren pek çok tür bulunmaktadır; fakat sadece *R. pseudoacacia* L. (Şekil 3.4) ormancılık ve odun üretiminde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. *R. pseudoacacia* L. bitkisi yalancı akasya ve beyaz akasya olarak da bilinmektedir.



Şekil 3.4. *Robinia pseudoacacia* L. (BitkiVT, 2018a).

R. pseudoacacia, ilginç karakteristiklere sahip çok amaçlı bir ağaçtır. Ağaç gençlik zamanındaki büyümesinin çok hızlı olması dolayısıyla öncü bir bitkidir. Bununla birlikte ağacın odunu oldukça yoğun, çürümeye karşı yüksek derecede dayanıklı, mükemmel bir renge sahip ve oldukça iyi kâğıt hamuru olabilecek özelliğe sahiptir. Bu şekilde görülen yüksek büyüme oranı ve yüksek odun yoğunluğu, her ağacın sahip olabileceği bir kombinasyon değildir (Hanover et al., 1991; El Bassam, 2010). Ek olarak, *R. pseudoacacia*, atmosferik azotu indirgeyebilen legümen (baklagil) bitkilerden biridir. Bu özellik bitkiye düşük verimli koşulları dahi tolere etme özelliği vermektedir. Bu ağaç aynı zamanda

güneş enerjisinden yararlanmada C₄ fotosentetik yolağını kullanmaktadır. Ağacın yüksek azot içeriğine sahip yapraklarından hayvan yemi amacıyla yararlanılmaktadır (El Bassam, 2010). Arılar bu ağacın yapraklarından bal yapmada yararlandığı için ağaç arıcılıkta da önemli bir yer tutmaktadır (Acartürk, 1996; El Bassam, 2010).

R. pseudoacacia, yüksek fotosentez verimi, yüksek ışık satürasyonu, düşük stomatal difüzyon direnci, uzun yaprak muhafaza zamanı ve yüksek terleme oranı ile karakterize edilmektedir (Hanover et al., 1991; El Bassam, 2010).

Ağaç birçok ülkede yetiştirilmektedir. Keresztesi'nin (1983) çalışmasına göre Macaristan, Romanya, Fransa, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, İspanya, Avusturya, Belçika, Yunanistan, İrlanda, Güney Kore büyük ölçekte *R. pseudoacacia* yetiştiriciliği yapmaktadır. Bu ağaç; özellikle Güney Kore'de yakacak odun, erozyon kontrolü ve hammadde amacıyla yetiştirilmektedir. *R. pseudoacacia*, okalıptüs ve kavaktan sonra hızlı büyüyen ağaçlar içerisinde dünyadaki en geniş alana sahip üçüncü ağaçtır (El Bassam, 2010).

Bu ağaç türü, kışın yaprağını döken, geniş tepeli bir ağaçtır. 20-30 metre boylanabilir. Vatanı Kuzey Amerika'nın doğusudur. Çabuk büyür, kökleri toprağı iyi tutar, hızlı ürer. Odunu suya karşı dayanıklıdır. Bu ağaç türlerinin istilacı yanı göz önünde bulundurulduğunda dikildikleri yerlerde yayılmasının kontrol altına alınması önemlidir (Mamıkoğlu, 2017). Seçilen bir plantasyonda yetiştiriciliği yapılmak istendiğinde, ağacın bu alanın dışına mobilize olmaması ve istila etmeye eğilimli olduğu bölgede biyoçeşitliliği tehdit etmemesi için kontrol amaçlı bazı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan birincisi Converse (1984) tarafından ortaya koyulan ve *R. pseudoacacia* ağacının fide büyümesinin ve azot fiksasyonunun, *Solidago altissima* (Kanada altın başak) ve *Andropogon virginicus* gibi çeşitli otsu türler tarafından allelopatik olarak azaltılması yöntemidir. Ancak bu yöntemde kullanılan türler bu ağaçtan daha fazla istilacı nitelik gösterebilir. Converse (1984)' göre, bir kere kesmek veya yakmak genellikle emme ve filizlenme aktivitesini artırır, ancak sıkça tekrarlanan kesimler sonunda ağaç öldürülebilir (Weber, 2003). Fide ve fidanlar da çekilebilir veya kazılabilir, ancak kökleri çıkarılmalıdır (Weber, 2003). Bir başka yöntem ise kimyasal kullanımı odaklıdır. Yine Converse (1984) tarafından yapılan çalışmada, glifosat (Huntley, 1990), pikloram, AMS, 2,4-D, 2,4-DP, triklopir kullanılarak ağacın istilacı nitelikte yayılmasının kontrol altına alınabileceği ifade edilmektedir; ancak bu kimyasalların insan ve hayvan sağlığı

üzerinde çok olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle kimyasal kontrol yöntemi denenmemelidir. Burada mekanik kontrol (kesme, kök çıkartımı) diğer yöntemlere göre hem en kolay hem de en az maliyetli ve bu nedenle de en uygun kontrol yöntemi olarak ifade edilebilir. *R. pseudoacacia*, Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Organizasyonu ile T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın 2016 yılında ortaklaşa yaptığı düzenlemede, bu ağaç türü Annex-3'e (yasaklanan bitkiler, yasaklanan istilacı bitkiler ve yasaklanan bitkisel ürünler listesi) girmemiştir (BitkiVT, 2018a). Ülkemizde bu ağaçtan özellikle parklar ve yolların ağaçlandırılmasında ve kumul ve demiryollarının şev tahkimlerinin ağaçlandırılmasında yararlanılmaktadır (Acartürk, 1996).

R. pseudoacacia'nın morfolojik karakteristiğine yönelik yapılan araştırmalarda, ağacın söğüt ve kavak gibi diğer hızlı büyüyen ağaçlardan farklı olduğu görülmüştür. *R. pseudoacacia* başlangıçta köklerinden filizlenebilir, üç ya da dört kesimden sonra filizler verebilir. Ağacın odunu oldukça serttir ve kesme aparatlarının bu sağlamlığa karşı dayanıklı ve güçlü olması gerekmektedir (Badelli, 1992; El Bassam, 2010).

R. pseudoacacia ağacı, öncelikli olarak yakıt eldesi amacıyla ve tarımsal uygulamalar için kullanılmıştır. Ağaç yaygın olarak çit direği amacıyla kullanılmaktadır. Ağacın sert odunu flavonoid içerdiğinden bitki çürümeye karşı maksimum ölçüde direnç göstermektedir. *R. pseudoacacia*'nın sağlamlığının ve dayanıklılığının iyi olması bu ağacın kereste endüstrisinde ve özellikle madencilik ve hidrolik uygulamalarda kullanılmasını sağlamaktadır. Bu ağaçtan elde edilen diğer ürünler ise kereste tomruğu, kerestelik odun, maden direği, parke, ray yatağı, kereste iskelet ve kır evleri için mefruşat şeklindedir. *R. pseudoacacia*'dan, ayrıca, kâğıt endüstrisi için hamur üretiminde de yararlanılmaktadır (El Bassam, 2010).

R. pseudoacacia'nın, sayıldığı üzere birçok kullanım alanı olsa da biyokütle enerjisi için hammadde olarak kullanılması en yüksek değerliğe sahiptir. Ağacın enerji plantasyonlarında kullanılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Redei, 1999; Redei et al., 2011). Bu ağacın birçok özelliği enerji plantasyonlarında biyokütle üretiminde, özellikle kereste ve enerji üretiminde mükemmel özelliklere sahiptir. Ağacın odununun ve kabuğunun ısı değeri oldukça yüksektir ve yaş (yeşil) olsa bile yanabilmektedir. El Bassam'ın derlediği çalışmada, Avusturya'da ağacın odununun ısı değeri 17.82 MJ/kg ve kabuğunun ısı değeri 20.08 MJ/kg olarak ölçülmüştür (El Bassam, 2010). Yapılan çalışmalarda ağacın kabuğunun

odunundan daha yüksek ısı değere sahip olduğu görülmüştür. Stringer and Carpenter'ın yapmış olduğu çalışmada (1986) ağaç kabuğunun ısı değeri 20.81 MJ/kg ve odunun ısı değeri 19.4 MJ/kg olduğu raporlanmıştır. Aynı çalışmada kabuğun nem içeriğinin (%34.7) odundan (%55.5) daha az olduğu da görülmüştür. Ağaç yapraklarının nem içeriği ise %60.6 olarak ölçülmüştür. *R. pseudoacacia*'nın tüm ağacının nem içeriği aralığı ise iki yaşındaki ağaç için %46.1 ile dokuz yaşındaki ağaç için %39.1 şekilde verilmektedir (El Bassam, 2010).

R. pseudoacacia bitkisinin Macaristan'daki alansal verimi 6.7 ton/ha.yıl ile 8 ton/ha.yıl arasında değişmektedir (Redei, 1999). Yine aynı ülkede yapılan bir çalışmada ağacın kuru fırın ağırlığının 3 ila 7 yaş arası için 2.9 ton/ha.yıl ile 9.7 ton/ha.yıl arasında değiştiği ifade edilmiştir (Redei vd., 2011). Dünya Agroforesti Veritabanına (*World Agroforestry Database – WAD*) göre ise odun enerjisinin verimi yaklaşık 19.44 kJ/kg şeklindedir. Güney Kore'de baltalığı hazır ve yıllık olarak döngüde olan yakacak odun üretim plantasyonlarında yakıt verimi yılda yaklaşık 10-20 ton/ha değerindedir (Orwa et al., 2009)

Ağacın azot indirgeme kapasitenin oldukça yüksek olması *R. pseudoacacia*'nın yem üretiminde de kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Fakat azot içeriğinin yüksek olması, özellikle direkt yakma yöntemi ile enerji üretiminde NOx emisyonlarının oluşumu nedeniyle dezavantaj sağlamaktadır. Yine de yapılan analizlerde ağacın azot içeriğinin çok büyük ölçüde yapraklarda olması bu dezavantajı büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır (El Bassam, 2010).

R. pseudoacacia ağacı, lif ürün bitkisi olarak kullanımda ve düşük enerji girdisi ile geniş-ölçekte biyokütle enerjisi üretimi hususunda birçok kullanım alanına sahiptir. Ağacın (1) hamuru kâğıt üretimi için, (2) yaprağı yem üretimi için ve (3) genç (yaş) gövdesi ise katı, sıvı ve gaz yakıt üretimi için kullanılmaktadır. Bu ağaç, ılıman iklimler de yüksek adaptasyon sergileyen ve hızlı büyüyen bir bitkidir. Bunun yanı sıra erozyon kontrolü ve marjinal alanların ağaçlandırılmasında da önde gelen bir ağaçtır. Buradan çıkarılacağı üzere, uçsuz bucaksız yeni ve hızlı büyüyen *R. pseudoacacia* gibi ağaçların oluşturduğu ormanlar atmosferik karbondioksit emisyonunun da azaltılmasına katkıda bulunacaktır (El Bassam, 2010).

3.2.2 *Parkinsonia aculeata* L. (İbrişim Akasya)

Parkinsonia cinsi, *Fabaceae* legümen (legume) ailesinin *Caesalpinioideae* altfamilyasının bir üyesidir. Günümüzde Afrika ve Amerika'ya özgü 29 tür içermektedir (CABI, 2019a).

Bitki her zaman yeşil, ince dallı, çok ince sürgünlü, dağınık tepeli, 7-8 metre boyolanabilen bir ağaçtır (Şekil 3.5). Mamıkoğlu'nun derlemesine göre Türkiye'de doğal olarak yetişmez; ancak Akdeniz ve Ege kıyılarındaki şehir ve kasabalarda, park ve bahçelerde sıkça görülmektedir (Mamıkoğlu, 2017).



Şekil 3.5 *Parkinsonia aculeata* L. (BitkiVT, 2018b).

P. aculeata diğer pek çok odunsu legümen gibi kuru bölgelere adapte olabilir, bozulmuş çayır alanlarında istilacı nitelik gösterebilir. Azot fiksasyonu özelliğine sahip olmadığı için toprak azotu açısından karşılaştırılabilir bir avantaja sahip değildir. Bitki, kuraklığa, su girişimine ve tuzlu koşullara karşı dayanıklıdır ve ormancılar tarafından genel olarak zorlu, sıra dışı ve diğer türlerin dayanamayacağı mevsimsel yağışların olduğu alanlarda yetiştirilebilecek bir bitki olarak görülmektedir (CABI, 2019a).

P. aculeata bitkisi geniş aralıkta toprak ve iklim özelliklerine adapte bir bitkidir. İstilacı olarak bilinen bu bitki türünün istilacı olmasını sağlayan önemli olaylardan biri seldir. Sel sayesinde bitkinin tohumları her yere yayılabilir. Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Organizasyonu ile T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın 2016 yılında ortaklaşa yaptığı düzenlemede, bu ağaç türü Annex-3'e (yasaklanan bitkiler, yasaklanan istilacı bitkiler ve yasaklanan bitkisel ürünler

listesi) girmemiştir (BitkiVT, 2018b). Bitkinin yetiştirilmek istendiği plantasyondan farklı alanlara hareketlilik sergilememesi için kültürel, mekanik, kimyasal ve biyolojik kontrol yöntemleri bulunmaktadır (CABI, 2019a). Ancak bunlar içinde farklı alt sorunları ortaya çıkarmaması (kimyasal kontrol-sağlık sorunları; biyolojik kontrol-farklı istilacı tür sorunları gibi) sebebi ile mekanik kontrol en idealidir. Burada, küçük fideler, dikenlere zarar vermemeye özen gösterilerek elle çekilebilir (Starr et al., 2003). Buldozerleme, bir traktörle çekme veya tırmalama yoluyla mekanik kaldırma, özellikle sonraki fide büyümesinin kontrol edilebildiği durumlarda etkili kontrol sağlar (Parsons and Cuthbertson, 1992). Avustralya'da, bıçaklı çiftçilik veya sökmenin etkili olduğu bulunmuştur, ancak bu sadece su yollarından uzakta düz alanlarda yapılabilir. Ek olarak, sorun, genellikle müteakip tohum çimlenmesinin önlenmesi olduğundan, takip çalışması tam kontrol için çok önemlidir. Bitkinin denetimli alanlarda istilacı olup olmadığına ilişkin raporlar bulunmamaktadır. Fakat yayılma hızı karşılaştırıldığında istilacı olması muhtemeldir. Bu ağaç türünün diğer türlerin habitatlarına zarar verdiğine yönelik herhangi bir ifade bulunmamakla birlikte; tam tersine ağaç türünün kalın formlarının birçok kuş türüne ve küçük memelilere sığınak sağladığı bilinmektedir (CABI, 2019a).

P. aculeata nemli bölgelerden yarı-kurak bölgelere kadar yayılış gösterebilir ve çok iyi gelişebilir. Bitki mevsimsel sellere dayanıklıdır ve 8 aydan uzun süren kuraklığa dayanabilir. Yıllık ortalama yağışın 250 mm ile 1000 mm arasında olması durumuna tolerans gösterebilen bitki, kurak alanlar için çok değerli bir bitkidir (Hocking, 1993; Luna, 1996; CABI, 2019a).

P. aculeata azot fiksasyonu yapmaz, dolayısıyla legümen bitkilerin kök nodüllerinin içine yerleşen ve azot fiksasyonu yapan *Rhizobia* bakterileri ile bir ilişkisi bulunmamaktadır (Sprent, 1987; CABI, 2019a). Toprak pH'ı için verilen aralık bu bitkide 3 ila 11 arasında değişmektedir (Parsons and Cuthbertson, 1992; CABI, 2019a). Bunun yanı sıra bitki orta dereceden yüksek dereceye kadar tuzlu topraklara tolerans gösterebilmektedir (Webb et al., 1984; Singh, 1989; Luna, 1996; CABI, 2019a). Bazı araştırmacılar her ne kadar bu bitkinin su girişimine dayanıklı olmadığını ifade etseler de *P. aculeata* diğer türlerin tolerans gösteremeyeceği mevsimsel su basmış alanlar için iyi bir ağaç olarak bilinmektedir (Miller and Pickering, 1980; Hughes, 1989; CABI, 2019a). *P. aculeata* için iyi büyümenin raporlandığı toprak tipleri sığ, iskeletsel (skeletal), çakıllı, kayalık aşınmış topraklar, yamaçlar ve derin killi vadi toprakları şeklindedir (Hocking, 1993; CABI;

2019a). Bunun yanı sıra kumlu topraklarda da toprak bağlayıcı bir tür olma özelliğinden dolayı yetiştirilebilmektedir (Abohassan et al., 1978; Mahmoud and El-Sheikh, 1981; Troup and Joshi, 1983; CABI, 2019a).

P. aculeata, küçük hızlı-büyüyen, ışığa ihtiyaç duyan bir ağaç olup, genellikle dikenli çit türü, gölge ağacı veya süs bitkisi olarak kullanılmaktadır. Ağaç, otlamaya imkân vermeyen, budamaya karşı dayanıklı ve iyi bir baltalık ağaçtır (Howes, 1946; Cunliff, 1974; Troup and Joshi, 1983; Webb et al., 1984; Dimmitt, 1987; CABI, 2019a). *P. aculeata* ağacı, ekstrem koşullarda yetişebilir (Stewart et al., 1992; CABI, 2019a), bu nedenle bozuk alanların rehabilitasyonu için oldukça ideal bir ağaç türüdür. Ekilmemiş (boş) arazilerin ve maden sahalarının ıslah edilmesinde bu ağacın kullanımı gerçekleştirilebilir (Hocking, 1993; CABI, 2019a). Kumul bağlama özelliğine sahip bir tür olduğundan; bu ağaç türünün kumul boş arazilerin ağaçlandırılmasında kullanıldığına yönelik raporlar bulunmaktadır (Abohassan et al., 1978; Mahmoud and El-Sheikh, 1981; CABI, 2019a). Bunun yanı sıra ağaç, diğer türlerin tolere edemeyeceği ağır, zayıf-drene toprakların ağaçlandırılmasında da kullanılabilir bir yapıya sahiptir. Arıların sıklıkla tercih ettiği bir ağaç türüdür (Eisikowitch and Masad, 1982; CABI, 2019a).

Ağacın odunu yakacak odun ve odun kömürü olarak kullanılmaktadır (BioNET-EAFRINET, 2011). Bu ağaç okaliptüs, çam ve kavak türlerinden farklı olarak, biyoyakıt üretiminde kullanılabilecek türlerden biridir. Rockwood et al., (2012), biyoyakıt üretiminde kullanılabilecek bu ağacı, kurak ve yarı-kurak iklim zonlarında yetiştirebilecek bir tür olarak nitelemiştir. Özellikle Singh et al., (2015) tarafından yapılan çalışmada ve Kumar and Roy (2018) tarafından yapılan derlemede, *P. aculeata*, kısa çevrimli enerji plantasyonlarında kullanılabilecek ağaçlardan biri olarak ifade edilmektedir. Stewart et al., (1992) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise *P. aculeata*'nın gövde çapı esas alınan genişliği ve gövde uzunluğuna göre kg cinsinden kuru biyokütle ağırlığı Çizelge 3.3'te verilmektedir. Felker et al., (1982) tarafından yapılan çalışma, *P. aculeata* ağacının Amerika Birleşik Devletleri'nin güneybatısında önemli ölçüde biyoyakıt kaynağı olarak kullanıldığını göstermektedir. Bunun yanı sıra ağaçtan kâğıt yapımında da yararlanılmaktadır (Thonner, 1915; Standley and Steyermark, 1937; Deshaprabhu, 1966; Hocking, 1993; Burkill, 1995; Luna, 1996, CABI, 2019a). Odunu ile çalışmak kolay olsa da doğrudan kullanımda kırılgan ve güvenilmeyen bir dayanıklılık sergileyebilir (Stewart et al., 1992); bu nedenle bu ağaçtan çok fazla

olmamakla birlikte tutacak, direk veya ışık direği olarak yararlanılmaktadır (Singh 1989; Luna, 1996; CABI, 2019a).

Çizelge 3.3. *P. aculeata*'nın gövde çapı baz alınan genişliği ve gövde uzunluğuna göre kuru biyokütle ağırlığı (kg) (Stewart et al., 1992).

Σd_n^2 (cm ²)	Gövde Uzunluğu (m)										
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
0	0.1										
5	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6				
10	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3			
15		0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1		
20		0.7	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	
25			1.2	1.6	1.9	2.3	2.6	3.0	3.4	3.7	
30			1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.5	4.9
35				2.1	2.6	3.2	3.7	4.2	4.7	5.2	5.7
40				2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.3	5.9	6.5
45				2.7	3.4	4.0	4.7	5.3	6.0	6.6	7.3
50					3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.4	8.1
55					4.1	4.9	5.7	6.5	7.3	8.1	8.9
60					4.5	5.3	6.2	7.1	8.0	8.8	9.7
65						5.8	6.7	7.7	8.6	9.6	10.5

Ağacın yaprakları yem amaçlı kullanılmaktadır (Mahmoud and El-Sheikh, 1981; Webb et al., 1984; Stewart et al., 1992; CABI, 2019a). Hocking (1993)'in raporuna göre Hindistan'da, yapraklar ve ince dallar keçilerin beslenmesinde kullanılmakta olup; Singh (1989)'in çalışmasına göre ise yapraklar, keçi ve koyunlara besin kaynağı olmaktadır (CABI, 2019a). Ağaç, sığırlar ve atların otlanmasına uygun değildir. Batı Afrika'da, çiçekleri, çocuklar tarafından

tüketilmektedir (Burkill, 1995; CABI, 2019a). Sonora-Chihuahua, Meksika’da ham tohumları Warihio Yerlileri tarafından tüketilmektedir (Gentry, 1963; CABI, 2019a). Hindistan’da *P. aculeata*’nın tohumlarının insan gıdası için kullanılmasına yönelik araştırmalar yapılmaktadır (Rajaram and Janardhanan, 1991; CABI, 2019a). *P. aculeata*’nın etnobotanik araştırmaları da bulunmaktadır. Yaprakların enfüzyonu (demlenmesi veya damara zerk edilmesi), diyaforetik (terletici), abortif (düşüşe neden olan) ve antiseptik (mikrop kırıcı) özelliklere sahip olmakla birlikte grip, epilepsi ve bulantı gibi rahatsızlıklarda oldukça değerlidir (Perez-Arbelaes, 1957; Burkill, 1995; CABI, 2019a).

3.2.3 *Ailanthus altissima* (Mill.). (Aylandız / Kokarağaç)

Ailanthus, doğal olarak Asya ve Kuzey Okyanusya’da bulunmak üzere 10 adet tür içermektedir. *A. altissima* (Şekil 3.6), 1916 yılında Swingle tarafından isimlendirilmiştir. Bu cins üç türe sahiptir; bunlar *altissima*, *tanakai* ve *sutchuensis*’tir (Chen, 1997; CABI, 2019b). *A. altissima*, kışın yapraklarını döken bir ağaçtır. *Ailanthus* adı *ailanthos*’dan (cennet ağacı) gelmektedir (Orwa et al., 2009).



Şekil 3.6. *Ailanthus altissima* L. (BitkiVT, 2018c).

Ağacın yetişebileceği bölgeler, subtropikal kuru ile nemli bölgelerden, serin-ılıman kuru ile nemli orman bölgelerine kadar uzanır (Henderson, 2001; CABI, 2019b). Bitki dona ve dondurucu soğuklara karşı dayanıklı olup, yıllık yağış ihtiyacı yaklaşık 300 ila 2500 mm arasındadır. Bitki ayrıca 8 aya kadar sürebilecek kurak sezonlara karşı da dayanıklılık göstermektedir. İhtiyaç duyduğu yıllık

ortalama sıcaklık aralığı yaklaşık 10-20°C civarındadır ve toprak pH gereksinimi 5.5 ile 8 değerleri arasındadır (Orwa et al., 2009).

A. altissima ağacının yetiştirilebileceği topraklar, asidik topraklardan alkali topraklara kadar oldukça geniş bir aralığa sahiptir. Bu ağaç kumul topraklardan killi topraklara kadar; iyi drene olmuş topraklardan bataklıklara kadar birçok bölgede yetiştirilebilmektedir. Ağacın yaprakları güzelavrat otu ve sinamekinin adulteranı (saflığı bozucu madde) olarak kullanılmaktadır. Tohumun 100 gramında 27 g protein ve 56-59 g yağ bulunmaktadır. Ağacın odunundan, odun kömürü ve yakacak odun olarak yararlanılmaktadır. Odun, sarı, halka-gözenekli, orta derecede sert ve ağırdır (Orwa et al., 2009; CABI, 2019b). Kullanım alanı az gibi gözükmesine rağmen, özellikle az gelişmiş ülkelerde, odunlar, sığınak yapımında, selüloz üretiminde, mobilya yapımında, kerestecilikte, kâğıt ve alet yapımında kullanılmaktadır. Odunu ayırmak zordur; fakat odunun işlenmesi ve cilalanması oldukça kolaydır. *A. altissima* ağacının odunu çürümeye dayanıklıdır ve odunun kuru halde işlenmesi oldukça kolaydır (CABI, 2019b). Ağacın kabuğu, yağ reçinesi, reçine ve zamlık içermektedir. Ağacın yaprakları %12 oranında tanin muhteva etmektedir. *A. altissima* ağacının yaprakları hayvanlar için zehirlidir; bahçe işiyle uğraşanların yapraklarına temas etmesi halinde ise kaşıntıya sebep olur. Ağacın yaprakları oldukça kötü kokmaktadır; bu koku bulantı, baş ağrısı, burun iltihabı ve göz nezlesine neden olabilir. Polenler ise bahar nezlesine yok açabilir. Bitki parçalarının suya eklenmesinin ise böcek öldürücü etkiye sahip olduğu belirtilmektedir (Orwa et al., 2009).

Ağaç, kanserin homeopatik tedavisinde kullanılmaktadır. Ağaç ile ilgili raporlarda, *A. altissima*, antiseptik (mikrop arıtan), kanamayı durduran, bakteri kırıcı, bağırsak temizleyici, müshile yakın, kusturucu, tenya (bağırsak kurdu) düşüren, kurt döken ve kalp ilaçlarında kullanılabilecek nitelikleri olduğu belirtilmektedir. Halk arasında *A. altissima* ağacının astım ve epilepsi (özellikle kökleri) (CABI, 2019b) ile ishal, dizanteri, ağrılı adet sancıları, idrar zorluğu, nezle, belsoğukluğu, hematokezi (gastrointestinal kanamalar), sıtma, rahim kanaması, iltihaplı yaralar, kasılmalar, mide ağrısı ve akciğer tümörleri (Çin’de rapor edilmiştir) tedavilerinde kullanıldığı bilinmektedir. Ağacın meyvesi, göz hastalıklarında kullanılmaktadır. Çin’de bitkiden basur tedavisinde de yararlanılmaktadır. Kore’de kök kabuğu, öksürük, gastrit ve bağırsak ile ilgili rahatsızlıklarda kullanılmaktadır. Köklerinden çıkan resin ve yaprakları, revülsif (hastalığı vücudun başka bir bölümüne taşıyan) ve kabarcık yapan niteliğe sahiptir

(Heisey, 1990; Lin et al., 1995; CABI, 2019b). Ağacın kötü kokusu insanlarda biraz uyku yapabilir (Orwa et al., 2009).

A. altissima ağacı subtropikal ve ılıman ülkelerde erozyon kontrolünde kullanılmaktadır. Ağaç ile yapılan sumaklar gölge sağlamaktadır ve ağaç çok az ağacın hayatta kalabileceği yerlerde geniş ölçekte rüzgâr siperi olarak kullanılmaktadır. Hindistan'da *A. altissima* ağacı inşaatlarda, mobilya ve paket yapımında, kâğıt hamuru ve lif endüstrisinde ve kibrit yapımında tercih edilmektedir (CABI, 2019b). *A. altissima*, yüksek dağların eğimine dahi dayanabildiği için yüksek eğimlerin kaplanması amacıyla tercih edilmektedir. Yabani ağaç olan *A. altissima* ağacı, kırmızımsı ve sarımsı toplu halde bulunan meyveleri ve aşınmış yaprakları ile tropikal süs bitkisi olarak oldukça ilgi çekici olabilir (ECOCROP, 2018). Ağaç birçok ağaç türünün yetişemeyeceği kirli alanlarda ve çöp depolama sahalarının yeniden kazandırılması için bu bölgelerde yetiştirilme potansiyeline sahiptir (Lee et al., 1997; Orwa et al., 2009; CABI, 2019b). *A. altissima*, tıpkı bir yabani ağaç türü gibi yüksek tohum çimlenme (germinasyon) oranına, yüksek büyüme hızına ve diğer türlerle rekabet etmeden çabuk kolonileşme özelliklerine sahiptir (CABI, 2019b). Ağaç, 5 aylık büyüme sezonunda 3-4 m yüksekliğe erişebilir. *Ailanthus* çabuk tohum veren bir yapıya sahiptir; fakat bunun yanı sıra kök sürgünleri ve baltalık olarak da yayılır. Dallar, tohumlar olgunluğa erişmeden önce yakıt amaçlı olarak budanmalıdır. Ağacın 100 kg'lık meyvesi 30-90 kg tohum vermektedir (Orwa et al., 2009). Ağaç hava kirliliğinin yoğun olarak görüldüğü yerlerde şehir ağacı niteliğine sahip olduğu için yüksek oranda tercih edilen bir bitkidir (ECOCROP, 2018; CABI, 2019b). Çin'de bu ağaç şehir ormancılığı alanında değerlendirilmektedir (ECOCROP, 2018).

TÜBİVES bu ağacı Zonguldak ve Kırklareli'nde rapor etmiştir (TÜBİVES, 2018). Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Organizasyonu ile T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın 2016 yılında ortaklaşa yaptığı düzenlemede ise bu ağaç türünün Annex-3'e (yasaklanan bitkiler, yasaklanan istilacı bitkiler ve yasaklanan bitkisel ürünler listesi) girmediği görülmüştür (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2018). Bu bitkinin istenmeyen mobilitesinin azaltılması için mekanik, kimyasal ve biyolojik kontrol yöntemleri bulunmaktadır (CABI, 2019b). Rebbeck et al., (2019) tarafından yapılan çalışmada bitkinin yanması ve köklerine herbisit (imazapir) enjekte edilmesine yönelik kontrol yöntemleri incelenmiştir. Buna göre herbisit uygulaması ile birlikte bitkinin yakılmasının küçük fidelerden büyük ağaçları öldürmeye kadar geniş bir yelpazede etkili olduğu

tespit edilmiştir. Meloche and Murphy (2006) de köklere herbisit enjeksiyonunun bu ağacı öldürdüğünü ifade etmişlerdir. Bu bitkide mekanik kontrol zordur; fidelerin mümkün olduğu kadar erken ortadan kaldırılması gerekir (Burch and Zedaker, 2003; Kowarik and Saeumel, 2007).

A. altissima ağacı, soğuk ve kurak koşullara karşı dirençli ve herhangi bir toprak parçası (kalker veya jips) üzerinde yetişebilecek niteliklere sahiptir. Ağacın yakın zamanda yakacak odun ya da odun kömürü amacıyla kullanımının dışında sıvı yakıt olarak kullanılabilirliği de araştırılmaktadır. Ağacın tohumu yağ asidi ve protein içermektedir (Zheng, 1978; In Watershed Services, 1982; Cheng et al., 1992; Hoseini et al., 2018; CABI, 2019b). Bu ağacın tohumu %38 oranında yağ içermektedir. *Ailanthus altissima* ağacının yağ asidi içeriğinin bilinmesi nedeniyle tohum yağı, biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilir (Hoseini et al., 2018).

3.2.4 *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.

Leucaena (Şekil 3.7), yaklaşık 24 legümen ağaç ve çalı türünün cinsini oluşturmaktadır. *Fabaceae* legümen ailesinin *Mimosoideae* alt ailesine aittir. Bazı türler yenilebilir tohum ve meyvelere sahiptir. Örneğin Meksika'da guaje olarak adlandırılan *Leucaena esculenta* tohumları tuzla yenebilir; fakat içeriğindeki yüksek miktardaki mimosine saç dökülmesine ve kısırlığa yol açmaktadır (El Bassam, 2010).



Şekil 3.7. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (Wikipedia, 2018a).

Bitkinin orijini Meksika ve Orta Amerika olmasına rağmen bitki, insanlar tarafından geniş bir alana yayılmıştır. Günümüzde, leucaena, tropikal bölgelerin büyük bir çoğunluğunda yetişmektedir. Bitki, yapraklarını döken küçük bir ağaçtır, 20 m'ye kadar boylanabilir ve 10-25 cm gövde çapına sahiptir. Çiçekleri beyaz renktedir (El Bassam, 2010).

Leucaena pek çok amaç için yetiştirilmektedir. Ağaç, proteince zengin yem bitkisi olarak, arazi ıslahı, erozyon kontrolü, su muhafazası, yeniden ormanlaştırma ve toprak iyileştirmesi için yetiştirilebilmektedir (Duke, 1983; El Bassam, 2010). Leucaena, yüksek derecede sindirilebilir ve gövde toksik olmayan birkaç odunsu tropikal legümenlerden biridir. Birçok bölgede yem amaçlı yetiştirilmektedir. Bitki ile beslenen hayvanlar leucaena'dan faydalanmaktadır. Bitki, otlak meralarının tamamlayıcısıdır. Ağacın yaprakları çok az miktarda toksin, aminoasit ve geviş getirmeyen hayvanlarda tüylerin dökülmesine neden olan mimosine içermektedir. Ağaç, aynı zamanda yakacak odun, kereste, kâğıt hamuru ve kok kömürü üretimi için de kullanılmaktadır. Geliştirilmiş varyeteler kereste üretiminde ve kâğıt hamuru yapımında kullanılmak üzere geniş plantasyonlarda, 8 yılda, 30 cm ağaç gövdesi ve 14 m yüksekliğe ulaşacak şekilde yetiştirilmektedir (Brewbaker, 1990; El Bassam, 2010). Fideler, 1 yıllık zaman dilimine ulaşmadan gözle görülür ölçüde tohum verebilmektedir. Bitkinin yaprakları verimin artmasına yardımcı olacak şekilde malçlama için diğer bitkilerle karıştırılarak kullanılmaktadır. Bitki, yılda, hektar başına 500 kg azot indirgemektedir. Leucaena ağacı sert ve ağırdır; yoğunluğu yaklaşık 0.7 g/cm³'tür (Duke, 1983; El Bassam, 2010).

Ağacın verimi iklimsel koşullara bağlıdır. 3-8 yıllık ağaçlarda yıllık odun artışı 24-100 m³/ha arasında değişiklik göstermektedir, ortalama değer ise 30-40 m³/ha şeklindedir. Yıllık olarak hasat edilen leucaena odununun fırın kuru gövde ağırlığı, 4 büyüme sezonu sonrası ortalama olarak 31 t/ha/yıl şeklindedir. Yakacak odun ve kereste hasadı 3-8 yıllık rotasyonlarda ve ağaçların büyümesi engellenmeyecek şekilde optimize edilir. Ağaç bir yıl içinde 8 m yüksekliğe erişir (Brewbaker, 1990; El Bassam, 2010). Soğuk bölgelerde ise leucaena yıllık olarak ya da 2 yılda bir hasat edilir.

Leucaena bitkisi, yetiştirilmesi uygun görülen yerlerin dışında mobilite sergilmemesi için kontrol altında tutulmalıdır. Oldukça lezzetli bir tür olan bitki için otlatma, kontrol aracı olarak kullanılabilir; Hawaii'de keçi otlatmanın *L.*

leucocephala'yı kontrol ettiği görülmüştür (PIER, 2007). Hindistan'daki orman fidanlıklarında, yabani ot tehdidi yarattığında, solarizasyonun tüm *leucaena* bitkilerini ve tohumlarını öldürmede %100 etkili olduğu bulunmuştur (Verma et al., 2005). Önemli bir dezenfeksiyon işlemi olan solarizasyon ile bir ay boyunca nemli toprağı kaplamak için plastik bir tabaka kullanılarak toprağın sıcaklığı 10-12°C arttırılır. Biyolojik kontrol başka türlerin istilacı niteliklerinin ortaya çıkartılmaması açısından denenmemelidir.

Ağacın odunu ısı ve elektrik üretimi için farklı dönüşüm teknolojilerinin kullanılması sayesinde biyoyakıt olarak değerlendirilebilmektedir. *Leucaena* tüm tropikal legümenlerin içinde en yüksek kaliteye sahip yem içeriğine sahiptir. Bir dana bir yılda yaklaşık 300 kg yaş yem yerken, sulanmış bir *leucaena* bir yılda yaklaşık 1000 kg/ha yem üretebilir. Bitki sığırlar için yem, yeşil gübre ve yakacak odun üretiminde ve toprak iyileştirme de kullanılmaktadır. Bitki özellikle enerji üretiminde kok kömürü olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (120 km²'den yıllık 1 milyon varil petrol eşdeğeri). Tohumlarından ise özellikle Endonezya'da yuvarlak solucanlara ve kıl kurtlarına karşı etkili olan ilaç yapılmaktadır. *Leucaena*, ayrıca, anaerobik fermentasyonda kullanıldığında %60 oranında metan zengini gaz (biyogaz) üretilebilmektedir. Fermentasyon sonucu ortaya çıkan kompost, toprak iyileştirme için kullanılabilecek organik gübre kalitesindedir. Metanca zengin gaz ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilecek ucuz bir yakıttır. *Leucaena*, gelişmekte olan ülkelerin büyük bir çoğunluğunda tarımsal-enerji (agro-enerji) geliştirmede enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Burada görüldüğü gibi bu ağaç türü ağaçların elektrik üretiminde kullanılması, düşük tesis maliyetleri, vasıfsız tarım ve orman alanlarının kullanılması ve gelecek istihdamının geliştirilmesi için oldukça önemlidir. Ayrıca, bu ağaç türleri diğer bitki artıkları ile birlikte anaerobik sindiricilerde kullanılabılırsa metan gazı ve organik gübre üretilmesini sağlayabilmektedir. Anaerobik sindirim ile bitki hasadı atıkların yanması sonucu ortaya çıkan çevresel etkiler azaltılabilir bunun yanı sıra tarım bitkilerinden kaynaklı metan emisyonu miktarı düşürülebilir (El Bassam, 2010).

3.2.5 *Melia azedarach* L. (Tesbih ağacı)

Melia azedarach (Şekil 3.8) ilk olarak 1753 yılında Linnaeus tarafından tanımlanmıştır ve *Meliaceae* ailesine mensuptur. İstilacı bir tür olarak nitelendirilmektedir. Hızlı büyür, erken olgunlaşır ve tohumları zehirlidir. Ağaç, orta boyda bir ağaç olup 20 m uzunluğa ve 60 cm çapa erişebilen bir yapıya sahiptir

(Guptai, 1993). Kurak bir bölgede maksimum yükseklik 15 m'ye kadar ulaşabilir. *M. azedarach*, *Eucalyptus*, *Pinus* ve *Populus* türlerine ek olarak biyoenerji üretiminde kullanılacak ağaçlardan biridir. Bu ağaç çok amaçlı bir tür olup, geniş adaptasyon coğrafyasına, kolay kuruluma, düşük yönetim maliyetine, zorlu koşullara toleransa, azot fiksasyon yeteneğine, hızlı büyüme ve yüksek enerji içeriğine sahiptir (CABI, 2019c).



Şekil 3.8. *Melia azedarach* L. (Wikipedia, 2018b).

M. azedarach, gölgelik oluşturulması amacıyla özellikle kuraklığın yaşandığı tesislerin ve çiftliklerin ağaçlandırılmasında oldukça kullanışlı bir ağaçtır. Ağaç, özellikle, kurak ve yarı kurak iklimlere sahip bölgelerde ve ağaçların zor yetiştiği yerlerde çok amaçlı bir tür olarak değerlendirilmektedir (Milimo, 1994; 1995). Bu tür, rüzgâr kesici olarak (Vietnam, Hindistan), başka bitki türleri için (kahve ve abaca bitkileri için) gölgelik oluşturulması amacıyla (Filipinler) (Ahmed and Idris, 1997) ve farklı bitki türleri ile birlikte ormanlaştırma için kullanılmaktadır. *M. azedarach*, cassava, darı, sorgum, kahve, cashew fıstığı, muz, ananas gibi bitkilerle birlikte yetiştirilebilen başlıca ağaç türlerinden biridir (Watanabe et al., 1988). Bitki, Hindistan, Himalayalarda kuru ve erozyona uğramış dik eğimlerde, 900-1500 m yükseklikte yetiştirilebilmektedir (Troup and Joshi, 1981). Hindistan'ın bazı bölgelerinde (Jammu ve Kashmir) ağaç özellikle güneye bakan ve eğimi yüksek çıplak topraklarda ormanlaştırma amacı ile kullanılmaktadır.

Ağacın kerestesi yumuşak; odunu ise görece sert, kolayca işlenebilir ve hafiftir (Keating and Bolza, 1982). *M. azedarach* tahta, tahta kabin, fiber levha, panel, spor malzemeleri yapımında kullanılan bir ağaç türüdür (Doran and Turnbull, 1997; Pennington et al., 1981). Bunun yanı sıra ağaç yakacak odun olarak da kullanılmaktadır (Keating and Bolza, 1982).

M. azedarach bitkisinin yetiştiriciliği planlanan alan dışında yayılmasını ve mevcut biyoçeşitlilik ile mücadele etmesini önlemek için kontrol yöntemleri mevcuttur. Bitki, yangına karşı çok hassastır; 10 m uzunluğundaki ağaç bile taban ateşi ile öldürülebilir (CABI, 2019c). Genç fideler el ile çıkartılıp alandan temizlenebilir; ancak bitki olgunlaştıkta bu yöntem işlevsiz hale gelmektedir. Bu nedenle bitkinin erken dönemde takip edilmesi gerekmektedir (Weber, 2003).

Bu ağacın zehirli taneli ufak meyveleri, ağırlığının %10'u oranında yağ içermektedir. Tohumların yağ içeriği, oleik asit (%21.8) ve linoleik asit (%64.1) gibi büyük oranda doymamış yağ asitlerinden oluşur (Moser, 2011; CABI, 2019c). Diğer bileşenler ise doymuş yağ asitleri olan palmitik (%10.1) ve stearik asit (%3.5) şeklindedir. Bu ağaçtan üretilecek FAME biyodizelinin kinematik viskozitesi 4.32 mm²/s (40°C) ve spesifik yoğunluğu 0.894 g/mL'dir (Stavarache et al., 2008; Moser, 2011). Yeşil-sarımsı yağından ayrıca sabun ve şampuan yapımında da faydalanılmaktadır (Troup and Joshi, 1981). Bitkinin çiçekleri arılar için bal ve polen açısından oldukça caziptir (Doran and Turnbull, 1997).

Ağaçtan bu kullanımların dışında medikal uygulamalarda da yararlanılmaktadır. Bitki böceklerin büyümesinin ve beslenmesinin bozulmasını sağlayan bileşenlere sahiptir. Ağaçta başlıca biyoaktif bileşenler azadirachtin, salannin ve meliantriol'dür (Milimo, 1994; 1995). Ağacın coğrafi dağılımına bağlı olarak azadirachtin bileşeninin varlığı değişmektedir. Ağacın meyvesine ait ekstrakt uzun süre boyunca bitkilerde böcek öldürücü olarak kullanılmıştır. Gana'da, bitkiden kakao tanelerinin *Guby Ephesia* tarafından istila edilmesine karşı yararlanılmıştır. Chen et al., (1997) ise *M. azedarach* meyvelerinin *Plutella xylostella* larvalarındaki toksik etkisini incelemiştir. Slam and Ahmed (1997) tarafından yazılan bir raporda, Mısır'da, *M. azedarach*'ın meyve ekstresinin pamuk yaprak kurdu'nun (*Spodoptera littoralis*) kontrolünde kullanıldığı belirtilmektedir. *Melia azedarach* da *Ailanthus altissima* gibi allelokimyasal içermektedir ve kabuğundan çıkartılan bu kimyasallar, bazı kurtlar ile mücadelede kullanılmaktadır. Bunun dışında yapraklarından elde edilen ekstreler ile yağlık palmiye fidelerini tutan *Setothosea asigna* larvalarının kontrol altına alınması sağlanmaktadır (Ginting et al., 1995).

3.2.6 *Populus euphratica* Oliv. (Fırat Kavağı)

Doğal habitatında, *P. euphratica* (Şekil 3.9), yarı-tropik bölgelerdeki geniş yapraklı ormanlardan kuru bölgelerdeki ormanlara kadar bulunabilir. Bu ağaç türü günümüzde yakacak odun üretimi amaçlı olarak kesilmesine rağmen; yoğun ormanlardan su kenarlarına kadar yayılım gösterebilmektedir. Ağaç, başka türlerin yetişemeyeceği su altındaki alanlarda bile yetişebilmektedir (World Agroforestry, 2018). *P. euphratica*, Cezayir, Çin, Mısır, Hindistan, İran, Irak, İsrail, Libya, Pakistan, Suriye, Türkiye ve Türkmenistan'a özgü bir türdür (National Research Council, 1980a; World Agroforestry, 2018).



Şekil 3.9. *Populus euphratica* Oliv. (Shutterstock, 2018; PIXABAY, 2018).

P. euphratica kışın yapraklarını döken ve 7.5 ila 15 m'ye kadar boylanabilen bir ağaçtır (National Research Council, 1980a; PFAF, 2018). İyi koşullar altında ağacın çapı 30-70 cm arasında değişmektedir. Tür, oldukça hızlı büyüme ve yıllık çap artışı 4-5.3 cm arasında değişmektedir. Ağaç, yüksek tuzluluğu tolere edebilmekte, uç sınırlardaki kuraklıkta ve eğer üst toprak nemli ise karasal iklimde yaşayabilmektedir (National Research Council, 1980a).

Ağacın yaprakları, koyunlar, keçiler ve develer için yem amaçlı kullanılmaktadır. Ağacın odunu ise orta derecede sert ve hafiftir. *P. euphratica*'nın budama esnasında ortaya çıkan dallarından, artıklarından ve atıklarından yakacak odun şeklinde yararlanılmaktadır. Ağaç ile ilgili rapor edilen kalorifik değer kabuk altı odunu (sapwood) ve öz odunu (heartwood) için sırası ile 5019 kcal/kg ve 5008 kcal/kg şeklindedir. Bu tür ayrıca kaliteli lifi nedeni ile iyi kalite kâğıt ve gazete kağıdı yapımında da kullanılmaktadır. Kerestesi çok kolay bir şekilde kesilebilen ağaçtan ahşap döşemede de yararlanılmaktadır (National Research Council, 1980a).

P. euphratica'nın kabuğu yuvarlak solucanlara ve kıl kurtlarına karşı etkili olan ilaç yapımında kullanılmakta, ince dallarından ise dış temizliğinde yararlanılmaktadır. Ağaç yanmış alanlarda yetiştirilebilmekte, korunmasız ve erozyona uğramış alanlarda, dik yamaçlarda ve toprak kayması riski bulunan bölgelerde kolonize şekilde yetiştirilebilmektedir. Bitkinin tuza toleransı oldukça yüksektir. Bu nedenle tuzlu toprakların ve kumul çöllerin ağaçlandırılmasında (Moğolistan ve Çin gibi) oldukça önemli bir türdür. Ağaç bunun yanı sıra kış boyunca yapraklarının olmaması, çoklu kullanım ve toprak iyileştirici özelliği nedeni ile tarım ürünleri ile karışık ekime de oldukça uygundur. Bu tür ile birlikte ekimi denenen tarım ürünleri; darı, buğday, börülce, patates ve şeker kamışıdır (National Research Council, 1980a; World Agroforestry, 2018).

3.2.7. Model ağaç türlerinin karşılaştırılması

Tez çalışmasında ele alınan model ağaçların önemli özelliklerinden biri hızlı büyüme özelliğine sahip oldukları için yüksek karbon yutak potansiyeli göstermeleridir. İklim değişikliği ile mücadelede, atmosferik CO₂ emisyonunun azaltılması için ormanlaştırma kapsamında ele alınan türlerin potansiyel karbon tutumunun bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 3.4'te, literatür taraması sonucu derlenen ve model ağaçların üst toprakta hektar başına karbon tutulum kapasiteleri verilmektedir.

Çizelge 3.4. Model ağaçların karbon tutulum / depolama kapasiteleri.

Ağaç	CO ₂ (Mg/ha)	İlk yetiştiricilik uygulamasına başlanan tarihten itibaren geçen süre
<i>R. pseudoacacia</i>	13.79 (Son et al., 2014)	3 yıl sonra – 1 yıl içinde depoladığı CO ₂
<i>P. aculeata</i>	1.2 (Dagar and Tomar, 2002)	7 yıl sonra – 1 yıl içinde depoladığı CO ₂
<i>A. altissima</i>	17.99 (Aghbash, 2018)	26 yıl sonra - 1 yıl içinde depoladığı CO ₂
<i>L. leucocephala</i>	53.98 (Sheikh et al., 2015)	10 yıl sonra - 1 yıl içinde depoladığı CO ₂

Çizelge 3.4(devamı). Model ağaçların karbon tutulum / depolama kapasiteleri.

Ağaç	CO ₂ (Mg/ha)	İlk yetiştiricilik uygulamasına başlanan tarihten itibaren geçen süre
<i>M. azedarach</i>	10.72 (Sarkar et al., 2017)	10 yıl sonra - 1 yıl içinde depoladığı CO ₂
<i>P. euphratica</i>	4.3 (Aishan et al., 2018)	16 yıl sonra - 1 yıl içinde depoladığı CO ₂

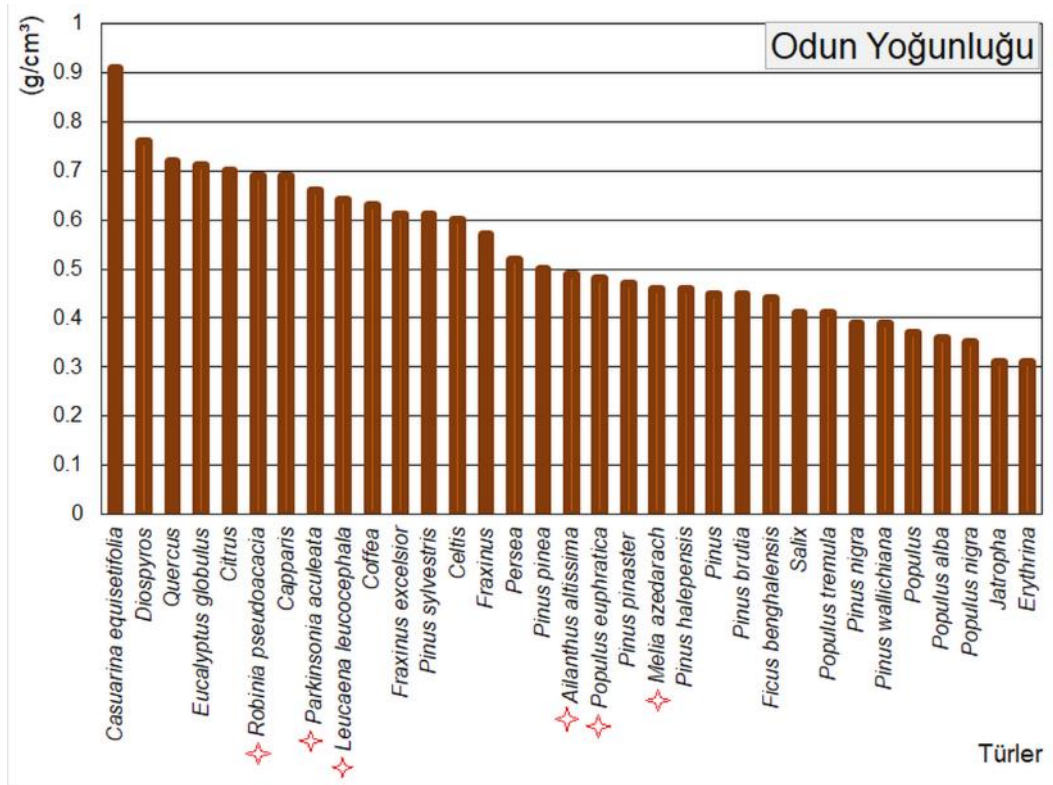
Bir diğer karşılaştırma ise model ağaç türlerinin kalorifik değerleri, ağaç uzunlukları, gövde çapları ve odun yoğunluklarının tespit edilmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda Çizelge 3.5'teki değerlere ulaşılmıştır.

Çizelge 3.5. Model ağaçlara ait özellikler (National Research Council, 1980a; 1980b; Duke, 1983; Jain, 1994; World Agroforestry Database, 2018; Kamperidou et al., 2018; Wood Database, 2018).

Ağaçlar	Kalorifik Değeri (kcal/kg)	Uzunluk (m)	Gövde Çapı (cm)	Odun Yoğunluğu (g/cm ³)
<i>R. pseudoacacia</i>	4226 – 4695	18 – 25	60 – 100	0.7 – 0.8
<i>P. aculeata</i>	4799 – 4920	10	40	0.6
<i>A. altissima</i>	4315 – 4537	20	60 – 100	0.5
<i>L. leucocephala</i>	4200 – 4600	20	10 – 25	0.6
<i>M. azedarach</i>	5043 – 5176	6 – 30	50 – 80	0.7
<i>P. euphratica</i>	5019 - 5008	7.5 – 15	30 - 70	0.5

Seçilen ağaçların neredeyse tamamı park ve bahçelerin ağaçlandırılmasında kullanılmaktadır. Ancak biyokütle enerjisi üretimi amacıyla kullanımı gerçekleştirilmemiştir. Ele alınan bu ağaçların odun yoğunlukları birçok karaçam (*Pinus nigra*) ve kızılçam (*Pinus brutia*) gibi çam türlerinden daha fazladır. Türkiye'de bulunan (Mamikoğlu, 2017) ve yakacak odun olarak kullanılabilecek

(National Research Council, 1980a; 1980b) ağaçların odun yoğunlukları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Yakacak odun olarak kullanılan bazı ağaçların odun yoğunlukları.

R. pseudoacacia, yakacak odun olarak yüksek kalori değerine ve ıslakken bile iyi yanıcılığa sahiptir. Tutuşması yavaş olmasına rağmen parlak mavi konsantre alevle kömür gibi yanabilmektedir. Odununun özgül ağırlığı 0.70-0.80 g/cm³ arasında değişmektedir ve odun kömürü üretimi için çok uygundur. Bu ağaç Hindistan ve Güney Kore'de türler yakacak odun plantasyonları oluşturmak için kullanılmıştır. *P. aculeata* ağacı, Meksika ve Porto Riko gibi ülkelerde odun ve odun kömürü için kullanılmaktadır. Ağaç, kapalı-tanelidir; odunu ise sıkı ve ağır (özgül ağırlığı 0.6 g/cm³) olmasının yanı sıra kırılkan da bir özelliğe sahiptir. Bu ağaç sert budamadan sonra bile güçlü bir şekilde yeniden büyüyebilmektedir. *Ailanthus altissima* odunu ise oldukça sert ve ağırdır ve birkaç ülkede yakıt ve odun kömürü olarak kullanılmaktadır (National Research Council, 1980a; 1980b).

Leucaena ağacının odunundan, oldukça iyi bir odun kömürü elde edilebilmektedir. Filipinler'de uzun zamandır yakacak odun kömürü olarak ve odun yakıtı ile çalışan güç santrallerinde kullanılmaktadır. Bu tür o kadar verimlidir ki,

elektrik jeneratörleri, fabrikalar ve tarımsal işleme tesisleri için yakıt sağlamak için ekilmektedir. Ağacın odunu, hızlı büyüyen bir ağaç için nadiren yüksek yoğunluklu ve yüksek kalorifik değere sahiptir. Kütükleri kolayca toplandığı için, bitki, tarımsal gereksinimlerine uygun alanlarda yenilenebilir bir yakıt kaynağı haline gelebilir. Kalorifik değeri kg başına 4200-4600 kcal'dir (National Research Council, 1980a; 1980b).

M. azedarach ağacı genellikle Orta Doğu'da; ayrıca Puerto Riko ve Nijerya'da yakıt temini için ekilmektedir. Tayland'da ise yakıt amaçlı kullanım için yeniden ağaçlandırma projelerinde yararlanılan bir türdür. Hindistan, Assam'da ise bu ağaç yakıt amaçlı olarak çay yetiştiriciliği yapılan alanlarda çay ile birlikte yetiştirilmektedir. Özgül ağırlığı yaklaşık 0.66 g/cm³'tür (kalorifik değer kg başına 5043-5176 kcal) (National Research Council, 1980a; 1980b).

Populus euphratica, tek başına bir orman oluşturabildiği gibi su yolları ve ve bu su yollarının geniş kolları boyunca uzanan yoğun ormanlar (söğüt, ılgın ve dut ile karıştırılmış) içinde de yetişebilir. Ağacın odunu orta derecede yoğunluğa sahiptir (0,48 g/cm³'e kadar özgül ağırlığa sahiptir). Kalorifik değer, diri odun için 5019 kcal ve öz odun için 5008 kcal şeklindedir (National Research Council, 1980a; 1980b).

3.3 Ağaçların Yetiştirme Şartlarını Etkileyen Parametrelerin Tespiti

Enerji ormancılığında kullanılacak ağaçların yetiştirme şartları tüm bitki topluluklarında olduğu gibi çevresel faktörlerden meydana gelmiş bir bütündür (Dönmez, 1985; Güney vd., 2016). Ekolojik etmenler olarak da tanımlanan ve bitki yaşamı açısından hayati nitelik taşıyan (Gençkan, 1985) çevresel faktörler; (1) Klimatik faktörler (sıcaklık, ışık, nem, hava hareketleri), (2) Topografik faktörler (bakı, eğim, yükselti, orografik uzanış), (3) Edafik faktörler (toprağın fiziksel yapısı, kimyasal bileşimi vb.) ve (4) Biyotik faktörler (hayvan, insan, bitki ve mikroorganizmalar) olarak dört kümeye ayrılmaktadır (Güney vd., 2016). Bitkiler bu faktörlerde verilen koşullara göre kendi isteğine uygunluğu oranında o yerde tutunur ve gelişir; kendi hayatını devam ettirir. Bu faktörlerin yetersizliği halinde gelişemez ve ortadan kalkar (Dönmez, 1985). Ağaçların yetiştirme şartlarını etkileyen parametrelerin tespit edilmesi sırasında yararlanılan kaynaklar Çizelge 3.6'da referansları ile birlikte verilmektedir.

Çizelge 3.6. Ağaçların yetiştirme şartlarına yönelik kriterlerin belirlenmesi için yararlanılan kaynaklar.

Kaynaklar		Kaynaklar	
Türkiye Vegetasyon Coğrafyasına Giriş	Atalay, 1983	Biyocoğrafya	Akman vd., 2011
Bitki Coğrafyası	Dönmez, 1985	Çevrebilim (Ekoloji) Sözlüğü	Güney vd., 2014
Çayır-Mera Kültürü, Amenajmanı ve Islahı	Gençkan, 1985	Handbook of Bioenergy Crops	El Bassam, 2010
Ekoloji: Çevre Biyolojisi	Kocataş, 2002	Vejetasyon Coğrafyası	Erinç, 1977
Biyocoğrafya: Bir Paleocoğrafya ve Ekoloji Yaklaşımı	Türkeş, 2015	ECOCROP (FAO - Food and Agriculture Organization of the UN)	ECOCROP, 2018
IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources)	IUCN Redlist, 2018	Hasat mekanizmasının eğitim ile ilişkisi	Strandgard et al., 2014

3.3.1 İklim

İklim, bitkilerin yetiştirme şartlarının başında gelmektedir. İklim elemanları bitki örtüsü üzerinde teker teker değil bir arada etkili olurlar. Böylece o yerin bitki örtüsü iklim elemanlarının ortak etkileri sonucunda şekillenir (Dönmez, 1985). Bitkilerin iklimsel uygunlukları iklim-vegetasyon ilkesi olarak adlandırılır ve bu ilke sıcaklık ve yağış faktörlerinin bir bölgenin bitki örtüsünü belirleyen birincil (primer) faktörler olduğunu söyler (Güney vd., 2016).

Sıcaklık: Bitkilerin bütün yaşama faaliyetleri için gerekli bir iklim faktörü olan sıcaklık yaşamın temel koşulunu oluşturmaktadır (Dönmez, 1985; Gençkan, 1985; Türkeş, 2015). Bitkilerin yaşamında etkili olan fizyolojik etmenlerin başında gelen sıcaklık dünya üzerinde alansal ve zamansal olarak çok değişken olduğu için aynı zamanda ekolojik bir etmendir. Sıcaklık yağış ile birlikte bitki türlerinin alansal dağılımlarını denetleyen temel etmenlerdendir (Türkeş, 2015).

Bitkiler, fotosentez ve metabolizma etkinliklerini sürdürebilmek için sıcaklığa gereksinim duyar (Türkeş, 2015). Sıcaklığın düşmesi bitkilerin klorofil

özümlemelerini yavaşlatır. Neredeyse bütün bitkilerin besin üretmeleri, büyümeleri ve üremeleri 0°C sıcaklığın üstünde olması gerektiği gibi birçok bitkinin yaşayabilmesi için de yıllık ortalama sıcaklığın 20°C'den aşağı düşmemesi gerekmektedir (Dönmez, 1985).

Bitkilerin sıcaklık istekleri çok farklıdır. Belirli bitki türleri, belirli sıcaklıkta yapraklanmaya, çiçeklenmeye ve gelişmeye başlar; belirli sıcaklık değerinin altında ise yaşamsal etkinliklerini durdurur (Türkeş, 2015). Her bitki türünün dayanabildiği bir en düşük sıcaklık bir de en yüksek sıcaklık değeri bulunmaktadır. Eğer sıcaklık o bitki türünün dayanabildiği en düşük sıcaklık derecesinin altına inerse veya dayanabildiği en yüksek sıcaklık derecesinin üstüne çıkarsa, o alanda o bitki türü için yaşama imkânı kalmaz. Bitkilerin canlanması, çimlenme ve büyümesi, dayanabildikleri bu en düşük sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda başlar ve dayanabildikleri en yüksek sıcaklık derecesine kadar devam eder (Dönmez, 1985; Türkeş, 2015).

Bitkilerin dayanma noktalarını ilgilendiren sıcaklıklar, aynı bitki türünde coğrafi enleme göre değiştiği gibi, her bitki türüne göre de değişir. Örneğin iğne yapraklı bir ağaç türü olan ladin ile kızılçamın dayanabilecekleri en düşük sıcaklık birbirinden farklıdır. Buradan anlaşılabileceği üzere bitkilerin dayanma noktaları ile ilgili en düşük ve en yüksek sıcaklıklar bitki hayatını sınırlayıcı değerlerdir. Sıcaklık bu değerlerin altına indiği ya da üstüne çıktığı zaman bitki hayatı tehlikeye girer. Buna karşılık, sıcaklık bu sınırlayıcı değerlerden uzaklaştıkça bitkinin gelişmesi hızlanır ve kendine en uygun sıcaklık şartlarını bulunca en üst yaşama seviyesine erişir. Bitkiler tam olarak gelişmelerini kendileri için en elverişli sıcaklıkta (optimum sıcaklık) sürdürür. Örneğin buğdayda çimlenme 5°C'nin üstündeki sıcaklıklarda başlar ve 42°C'ye kadar devam eder. Buna karşılık 28°C-30°C'lik sıcaklıklar buğdayın gelişmesini en iyi şekilde sağlayan sıcaklıklardır (Dönmez, 1985). Burada bitki gelişimi ile sıcaklık arasındaki ilişkiler, bitkilerin sıcaklığa karşı verdikleri tepkilerin analiz edildiği termoperiyodizm kavramı ile açıklanmaktadır (Gençkan, 1985; Türkeş, 2015).

Yağış: Bitkilerin yetiştirme şartlarından olan su özellikle kurak sahalarda bitki hayatı için büyük önem taşır. Bitkiler için çok gerekli olan suyun kaynağını yağışlar ve havanın nemi oluşturur. Yağış ve nemlilik şartları sadece bitkilerin dış şekli ve içyapısı üzerinde değil aynı zamanda bitkilerin fizyolojik özellikleri üzerine de

geniş ölçüde tesir eder. Bu sebeple bitki türlerinin dağılışında bitkilerin suya olan istekleri en önemli rolü oynar (Dönmez, 1985).

Yeryüzünde bitki örtüsünün biçimlenmesinde ve belirlenmesinde başrolü oynayan faktörü su teşkil etmektedir. Hiçbir faktör, bitki örtüsünün şekillenmesini su faktörü ile aynı derecede belirleyememektedir. Her ne kadar sıcaklık faktörü de bitkilerin dağılışında çok büyük önem taşısa da (sıcaklığın oluşturduğu rejyonel ve vertikal bölgeler) bitki örtüsünün büyük üyeleri genelde birinci derecede su faktörüne bağlı bulunmaktadır. Bu durum orman vejetasyonları, step vejetasyonları ve çöl vejetasyonları için hem tropik hem de ılıman zonlarda geçerlidir. Bitkilerin su ihtiyacı bitkiden bitkiye değişir (Gençkan, 1985). Suyun azalması o bitki türünün dayanma noktasını aşarsa burada bitki yetişme imkânı bulamaz. Step sahalarında ormanın yetişmesini imkânsız kılan yağışın 250-300 mm'nin altına düşmesi bu duruma örnek gösterilebilir (Dönmez, 1985).

Burada yağış ile ilgili bahsedilmesi gereken bir diğer husus ise bitkilerin düşen yağışın tamamından istifade edememesidir. Yağışların bir kısmı akış ile bir kısmı da buharlaşma ve terleme ile kayba uğrar. Fiziki kuraklık gibi sebeplerle bitkiler, o sahadaki yağışın tamamından faydalanamazlar. Burada fiziki kuraklık yağış azlığından ileri gelen kuraklığın tanımlanmasında kullanılmaktadır (Dönmez, 1985). Yağış miktarının yanı sıra buharlaşma ve terleme olayları ile fiziki kuraklığın da bitki yetiştiriciliğinde önemli olması tüm ele alınan yağış elemanları için ayrı analizleri gerekli kılmaktadır.

3.3.2 Toprak

Bitki örtüsü ile bitkinin kökleri ile tutunduğu toprak arasında oldukça sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Bitki, bünyesini teşkil eden elemanların çoğunu topraktan alır (Dönmez, 1985). Bitki üzerindeki kimyasal etkiler topraktan kaynaklanmaktadır. Toprak, kimyasal yapısına uygun vejetasyonu taşımaktadır (Gençkan, 1985). Bitkinin yetişmesinde toprağın dokusu, yapısı derinliği, nemliliği, buharlaşma oranı, geçirimliliği, içerdiği madeni elemanlar, asitlik derecesi, katı madde yoğunluğu, tuzluluğu önemli rol oynar (Dönmez, 1985).

Toprak tekstürü ve bünyesi: Toprağın tekstürünün yani sık veya gevşek oluşunun ve toprağın yapısının yani kalkerli, killi, kumlu oluşunun bitki hayatı üzerinde etkisi önemlidir. Sıkı yapılı topraklarda su ve hava kolaylıklar dolaşamaz;

fazla gevşek yapılı topraklarda ise su derinlere süzülür ve bitki bu sudan yararlanamaz. Toprağın bünyesini oluşturan toprak çeşitlerinden kumlu topraklara hafif, killi topraklara ise ağır toprak denir (Erinç, 1977). Toprak tekstürü bitkinin gelişimini sürdürebilmesi için önemli bir parametredir.

Kalkerli topraklar sıcak topraklardır; bunun için soğuk ve nemli alanlarda düşük sıcaklıkların bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletirler. Bu şekilde soğuğa hassas olan bitkiler için elverişli bir ortam yaratırlar. Killi topraklar ise geçirimsiz oldukları için bünyelerinde suyu tutarlar, toprağı yapışkan hale getirirler ve böylece suların derinlere sızmasını önlerler. Madeni ve organik maddelerin bitkilerin istifade edebilecekleri yerlerden daha aşağılara taşınmamları yine bu killi yapı sayesinde sağlanır. Killi topraklar aynı zamanda serin topraklardır. Bu özellikleri dolayısıyla sıcak ve kuru sahalarda yağış azlığının yani kuraklığın olumsuz etkilerini azaltırlar. Buradan anlaşılacağı üzere yağışlı ve soğuk bölgelerde kalkerli topraklar, sıcak ve kurak yerlerde ise killi topraklar don yahut kuraklığa hassas olan bitki türleri için elverişlidir (Dönmez, 1985).

Toprağın derinliği: Sağlam kaya üzerindeki gevşek toprak tabakasının toplam derinliğine kalınlık denir. Toprak kalınlığı Erinç (1977) tarafından Çizelge 3.7'deki gibi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.7. Toprak kalınlığı ve sınıflandırması (Erinç, 1977).

Sınıf	Kalınlık (cm)
Çok Sığ	< 10
Orta Derecede Kalın	30 – 60
Sığ	10 – 30
Kalın	60 – 100
Çok Kalın	> 100

Toprak derinliği parametresi, kurak bölgelerde yağışların azlığını kısmen gideren bir diğer toprak özelliğidir. Mesela, kumlu topraklar fazla derin oldukları takdirde suyu daha iyi muhafaza ederler ve böylelikle kurak bölgelerdeki yağış azlığının bitkiler üzerinde yatacağı zararları hafifletirler. Toprağın derin olduğu

kısım, sıg kısma nispeten daha fazla su tutma imkânına sahiptir ve dolayısı ile daha nemli bir ortamdır. Bu nedenle derin kumlu toprakların bulunduğu yerler su isteği fazla olan bitkiler için elverişli yetiştirme ortamı sağlar (Dönmez, 1985). Bunların yanı sıra toprak kalınlığı parametresi bitkilerin tutunma, beslenme gibi faaliyetlerinde ekolojik bir rol oynar (Erinç, 1977).

Toprak nemliliği: Bitkiler yaşama faaliyetlerini devam ettirebilmek için suya muhtaçtır. Su ise toprakta muhtelif şekillerde tutulur. Toprakta depo edilen suyun tamamı bitkiler tarafından kullanılamaz. Toprakta bulunan suyun bir kısmı toprak unsurları tarafından büyük bir kuvvetle (neredeyse 15 atm'den büyük bir basınçla) tutulur ve bitkiler bu sudan yararlanamaz. Bu suya ölü su veya higroskopik nem adı verilir. Bu su miktarından kalan ve bitkiler tarafından kullanılan su miktarına ise faydalanabilecek su adı verilir (Erinç, 1977). Farklı toprak tekstürlerinin su kapasitesi Çizelge 3.8'de verilmektedir. Çizelge 3.9'da ise farklı toprak tekstürleri için Türkeş'in (2015) belirttiği su tutma değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.8. Farklı tekstürlerde su kapasitesi (150 cm kalınlıktaki bir tabaka için) (Erinç, 1977).

	Su kapasitesi (mm)	Ölü su (mm)	Faydalanabilecek su (mm)
Kum	180	60	120
Milli kum	300	100	200
Kumlu mil	330	110	220
Mil	450	170	280
Kil	600	280	320

Toprak pH: pH değeri (Çizelge 3.10) toprağı kimyasal, fiziksel ve biyolojik olarak etkileyebilecek parametrelerden biridir. pH'ın yüksek olması durumunda (alkali özellik gösteren toprak yapısında) toprağı ait besinler bitki kökü için kullanılabilir olmazlar. pH değerinin çok düşük olması durumunda (asidik toprak yapısında) ise besinler toprakta toksik etki gösterirler. Düşük değerler toprağın azot, sülfür ve fosfor gibi elementlerinin kullanımına katkıda bulunan bakteri ve mikroorganizmaların aktivitesini kısıtlar (Maxson, 2007). Buradan

görüldüğü üzere bir bitkinin sağlıklı yetişebilmesi için pH değerinin uygun aralıkta olması gerekmektedir.

Çizelge 3.9. Toprak cinslerinin organik madde, higroskopik kapasite, tarla kapasitesi, kapiler kapasite ve maksimum su tutma kapasitesi.

Toprak Cinsi	Organik Madde	Higroskopik kapasite	Tarla kapasitesi	Kapiler kapasite	Maksimum su tutma kapasitesi	
İnce kum	2.13	3.4	7.6	4.2	44.5	(Türkeş, 2015)
Tın (kumlu)	3.01	6.9	15.5	8.6	58	
Kil (siltli)	5.91	16.1	30.4	14.3	87	
Kum (0 Bar)					29.4	

Çizelge 3.10. Türkiye Tohumcular Birliği tarafından belirtilen toprak pH aralıkları (Türktob, 2012).

Kuvvetli asit	< 4.5	Nötr	6.5 – 7.5
Orta asit	4.5 – 5.5	Hafif alkali	7.5 – 8.5
Hafif asit	5.5 – 6.5	Kuvvetli alkali	8.5 >

3.3.3 Topoğrafya

Bir bölgenin bitki örtüsünü, iklim ve toprak şartlarının yanı sıra topoğrafyası da etkilemektedir. Topoğrafya, iklim ve toprak özellikleri gibi bitkinin hayatını doğrudan etkilemez; bu parametrenin bitki yetişmesi üzerinde dolaylı etkileri bulunmaktadır. Topoğrafyadaki farklılaşma, kendini o alandaki sıcaklık ve yağış şartlarındaki değişmelerle gösterir. Bu değişikliğe de yükselti ve bakı sebep olur (Dönmez, 1985).

Yükselti: Bir alanda yükselti arttıkça sıcaklık azalır; buna karşılık yağış artar. Böylece bir dağın eteği ile zirvesi arasında yükselti ve bakının sebep olduğu yağış ve sıcaklık şartları birbirinden farklı olarak çeşitli kademelere sahip olur. Sıcaklık ve yağış şartlarının bu çeşitliliği, bitki örtüsünün de çeşitlenmesine yol açar. Yükseltinin sebep olduğu, yağış ve sıcaklıktaki değişmelere uygun olarak

bitki örtüsü de yağış ve sıcaklık isteklerine göre yapraklarını döken ormanlar, iğne yapraklı ormanlar ve dağ çayırları şeklinde bir sıralanış gösterirler. Dağların eteğinde sıcaklık istekleri daha yüksek olan yayvan yapraklı ve kışın yapraklarını döken ağaçlardan oluşan ormanlar yer alır. Yükselti arttıkça sıcaklığın azalması ve yağışın artmasına bağlı olarak yağış istekleri daha fazla ve soğuğa daha çok dayanabilen iğne yapraklı ağaçlar sahaya hâkim olmaya başlar. Daha yükseklerle doğru sıcaklığın iyice düşmesine bağlı olarak iğne yapraklı ormanlar da seyrelmeye başlar ve nihayet ağaç sınırının üstünde kalan yerleri Alp çayırları ya da alpin kat denilen dağ çayırları kaplar (Dönmez, 1985).

Baki: Nemli rüzgârlara karşı olan yamaçlar fazla yağış alır. Buna bağlı olarak bu yamaçlardaki bitki örtüsü diğer yamaca nispetle daha gür ve daha çeşitlidir. Yağış istekleri fazla olan bitki türleri çoğunlukla nemli rüzgârlara karşı olan yamaçları tercih eder. Kuzey yarımkürede dağların güneye bakan yamaçları ile kuzeye bakan yamaçları aşağı yukarı aynı coğrafi enlemde oldukları halde aynı derecede ısınmaz. Güneş ışınlarını daha az aldıkları için kuzey yamaçlar güney yamaçlara nispeten daha az ısınır. Bunun neticesi olarak dağların güney yamaçları sıcaklık istekleri daha fazla olan bitki türleri ile kaplıdır. Kuzey yamaçlar ise soğuğa dayanıklı bitki türlerinin geliştikleri yerdir (Dönmez, 1985).

Eğim: Eğim toprağın aşınma, taşınma ve birikme süreçlerinin hızını etkiler (Türkeş, 2015). Fakat enerji ormancılığı konusu ele alındığında eğimin hasat mekanizmalarına yönelik etkisi olduğu da görülür. Özellikle elle hasat edilemeyen ağaç türlerinde ve gövdesinden yararlanılacak ağaçlarda, ormancılıkta kullanılan araçların, ağaçların bulunduğu bölgede çalışması gerekir. Bu araçların maksimum eğim kapasiteleri bulunmaktadır (Strandgard et al., 2014). Bu sebeple enerji ormancılığı bu araçların çalışabileceği maksimum eğim kapasitesine sahip yerlerle sınırlandırılmalıdır.

3.4 Ağaçların Yetiştirme Şartlarına Yönelik Kriterlerin Belirlenmesi

Enerji ormancılığı için model ağaçlar esas alınarak alansal uygunluğun belirleneceği yer tespit modeline entegre edilebilecek somut kriterlerin tespit edilmesi aşamasında Başlık 3.4'teki parametreler esas alınmıştır. Bu parametrelerin ışığında ise geniş ölçekte ECOCROP veritabanının kullanıldığı kriter listesi Çizelge 3.11'de verilmektedir.

ECOCROP, belirli ortamlar ve kullanımlar için (gıda, yem, enerji, erozyon kontrolü, endüstriyel amaçlar) 2568 bitki türünü tanımlayan bir veritabanı olmakla birlikte bitkilerin ekolojik gereksinimlerine ait geniş bir kitaplık da oluşturmaktadır. ECOCROP, bitkilerin temel ekolojik gereksinimlerine ait bilgiler ile tasarlanmıştır. ECOCROP çalışması, projenin birincil amacı da olan ve birçok türü ve hatta ayrıntılı bilgi edinmenin mümkün olmadığı daha az bilinen türleri de içermesi nedeniyle seçilmiştir. Bu veritabanı ile kullanıcı tarafından seçilebilir bitki tanımlayıcıları arasında “kategori” (örn. tahıllar, sebzeler vb.), “yaşam formu” (örn. çalı, ağaç vb.), “büyüme alışkanlığı” (örn. dik, tırmanıcı vb.), “yaşam süresi” (ör. yıllık, çok yıllık vb.) gibi tanımlamalar bulunmaktadır. ECOCROP’taki ekolojik tanımlayıcılarda sıcaklık, yıllık yağış, toprak pH’ı, ışık yoğunluğu (gölgeleme veya bulutluluk derecesi), Köppen iklim sınıflandırmasına göre belirlenen iklim tipleri, fotoperiyod hassasiyeti, enlem, yükseklik ve diğer toprak özellikleri (derinlik, doku/bünye, verimlilik, tuzluluk, drenaj) için minimum ve maksimum değerler yer almaktadır. Kullanım tanımlayıcıları ise bitkinin ana kullanımını (ör. yiyecek ve içecek, yakıt vb.) ve kullanılan kısmını (ör. bitkinin tamamı, meyveleri vb.) içermektedir. Bu şekilde, ECOCROP, kullanıcılar için bitkinin kısa tanımlarını, ortak isimleri ve verimlerini, ayrıca ekolojik ve kullanım gereksinimlerini içeren bireysel bitki veri künyeleri veritabanı sağlamaktadır (ECOCROP, 2020).

Bölüm 3.4’teki parametreler esas alınarak ECOCROP veritabanından *R. pseudoacacia*, *P. aculeata*, *A. altissima*, *L. leucocephala*, *M. azedarach* ve *P. euphratica* türlerine ait künyeler temin edilmiştir. Künyelerde yer alan ekolojik tanımlayıcılar Çizelge 3.11’de verilmiştir. Burada sadece “eğim” kriteri Strangard et al., (2014)’den alınmış ve “rüzgâr direnci” ile “su ihtiyacı” kriterlerine ise El Bassam (2010)’dan ulaşılmıştır. Buurada ortaya konan kriterler için veritabanı geliştirme aşamasında, hangi verilere ulaşılabildiği ilerleyen başlıklarda ifade edilecektir.

Çizelge 3.11. Model ağaçların yetiştiriciliğine yönelik kriterler (El Bassam, 2010; Strangard et al., 2014; ECOCROP, 2018).

Yetiştiricilik Kriterleri	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>P. aculeata</i>	<i>A. altissima</i>	<i>L. leucocephala</i>	<i>M. azedarach</i>	<i>P. euphratica</i>
Sıcaklık	Optimum	15°C - 32°C	24°C - 32°C	20°C - 32°C	16°C - 30°C	20°C - 40°C
	Mutlak	6°C - 40°C	16°C - 36°C	10°C - 42°C	8°C - 35°C	10°C - 52°C
Yağış (yıllık)	Optimum	450 - 700 mm	300 - 700 mm	600 - 3000 mm	600 - 1000 mm	200 - 300 mm
	Mutlak	300 - 1600 mm	200 - 1000 mm	250 - 5000 m	350 - 2000 mm	75 - 400 mm
Yükseklik	< 3300 m (mutlak)	< 2400 m (mutlak)	< 2000 m (mutlak)	< 2100 m (mutlak)	< 2000 m (mutlak)	< 4000 m (mutlak)
Enlem	34° - 30° (optimum) 40° - 60° (mutlak)	20° - 30° (mutlak)	30° - 30° (optimum) 60° - 60° (mutlak)	15° - (optimum) 25° - 30° (mutlak)	20° - 10° (optimum) 40° (mutlak)	-
Eğim (operasyonel)	0° - 35°	0° - 35°	0° - 35°	0° - 35°	0° - 35°	0° - 35°
Toprak Tekstürü	Kum - Tın (optimum) Kil (mutlak)	Kum (optimum) Kum - Tın (mutlak)	Kum - Kil (optimum/mutlak)	Kum - Tın (optimum) Kum - Tın - Kil (mutlak)	Kum - Tın (optimum) Kum - Tın - Kil (mutlak)	Tın (optimum) Kum - Tın - Kil (mutlak)

Çizelge 3.11(devamı). Model ağaçların yetiştiriciliğine yönelik kriterler (El Bassam, 2010; Strangard et al., 2014; ECOCROP, 2018).

Yetiştiricilik Kriterleri	<i>R. pseudoacacia</i>	<i>P. aculeata</i>	<i>A. altissima</i>	<i>L. leucocephala</i>	<i>M. azedarach</i>	<i>P. euphratica</i>
						
Su İhtiyacı	Orta	-	-	-	-	-
Rüzgâr Direnci	Yüksek	Yüksek	Yüksek	-	-	-
Işık Yoğunluğu	Çok Parlak (optimum) Bulutlu (mutlak)	Çok Parlak (optimum) Açık Gökyüzü (mutlak)	Çok parlak (optimum) Çok gölgeli (mutlak)	Çok parlak (optimum) Hafif gölge (mutlak)	Çok Parlak (optimum) Bulutlu (mutlak)	Çok Parlak (optimum) Açık (mutlak)

3.5 Konumsal Veritabanı Geliştirme

Model ağaçların yetiştiricilik alanlarının uygunluğuna yönelik kriterler esas alınarak, çalışmada ihtiyaç duyulan konumsal veriler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Yükselti (sayısal yükseklik modeli),
- Eğim,
- Bakı,
- Toprak pH,
- Toprak kil içeriği,
- Toprak kum içeriği,
- Anakayaya olan derinlik,
- Uzun dönem ortalamalarına göre aylık toplam yağış; aylık ortalama sıcaklık, aylık minimum sıcaklık ortalaması, aylık maksimum sıcaklık ortalaması,
- Esas alınan iklim senaryosuna göre projeksiyonu gerçekleştirilmiş referans periyoda ait uzun dönem ortalamasına göre aylık toplam yağış; aylık ortalama sıcaklık, aylık minimum sıcaklık ortalaması, aylık maksimum sıcaklık ortalaması,
- Arazi kullanım sınıfları.

Konumsal veritabanının geliştirilmesi aşamasında ulusal ve uluslararası veritabanlarının taranması yoluna gidilmiş ve ulaşılabilen her veri kaynağının potansiyel kullanılabilirliği incelenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan veritabanları Çizelge 3.12’de verilmektedir.

Çizelge 3.12. Tez çalışmasında kullanılan veritabanı listesi.

Veritabanı Adı	Veri Adı
NASA The Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) - EARTHDATA	ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Dig. Elevation Model)
ISRIC (Internat. Soil Reference and Info. Centre) – HWSD (Harmonized World Soil Data.) ISRIC - SoilGrids	• pH, • Kil içeriği, • Kum içeriği, • Anakayaya olan derinlik (AKOD),
FAO (Food and Agriculture Org.) ECOCROP	Bitki ekolojik gereksinim verileri
EEA (European Environ. Agency) - CORINE (Coordination of Info. on the Environ.)	Arazi kullanım verileri
World VMap	• Ülke sınırı, • Yol (ana), • Irmak vektör verileri
WorldClim	• Aylık ortalama sıcaklık, • Aylık minimum sıcaklık • Aylık maksimum sıcaklık, • Yıllık yağış

3.5.1 Toprak verileri

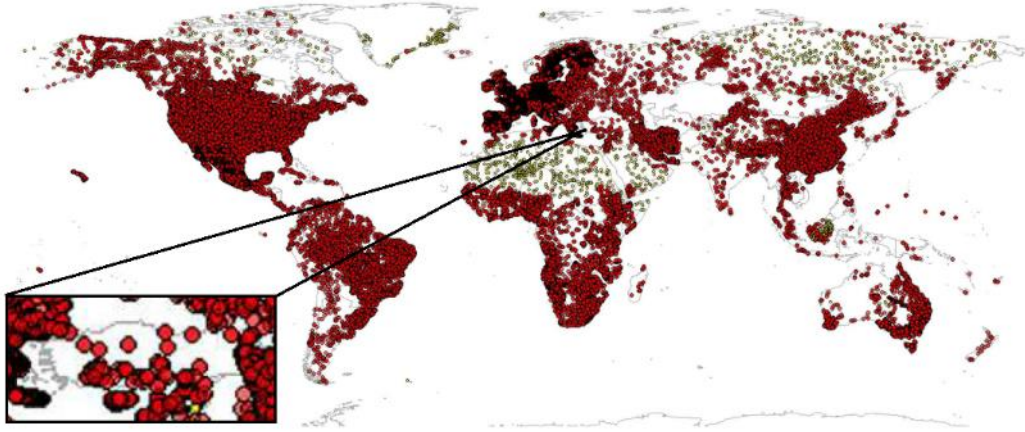
Toprak verileri, 250 m’lik yersel çözünürlükte, ISRIC (International Soil Reference and Information Centre) veritabanından temin edilmiştir. Bu veritabanı;

- Toprak Organik Karbon (TOK),
- Toprak katı madde yoğunluğu (KMY),
- Katyon değişim kapasitesi (KDK),
- Toprak pH (H₂O VE KCl solüsyonu içinde),

- Toprak kum, kil ve silt yüzdeleri,
- Kaba fraksiyonlar (KF),
- Ana kayaya olan derinlik (R horizonu) (AKOD) ve USDA toprak taksonomisi (67 toprak sınıfı) ile Dünya toprak sınıflarını (118 toprak sınıfı) içermektedir (Hengl et al., 2016).

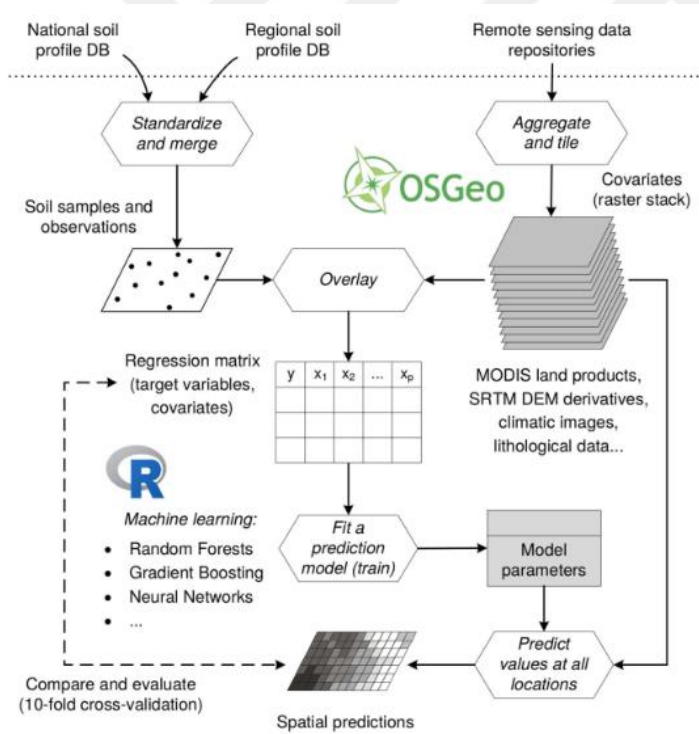
Bu veriler 0, 5, 15, 30, 60, 100 ve 200 cm toprak derinliği için farklı değerlerde bulunmaktadır. Soilgrids veritabanı ilk üretildiğinde sadece regresyon modelleri kullanılmış; fakat 2016'da güncelleme yapılarak veritabanının geliştirilmesinde makine öğrenmesi algoritmaları (machine learning algorithms) kullanılmıştır. R platformunda kullanılan algoritmalar (yapay sinir ağları ve random forest algoritması) ile toprak verilerinin üretilmesinde tüm dünya genelinden yaklaşık 230000 noktadan örnek alınmış (Şekil 3.11); bunun yanı sıra 158 uzaktan algılama verisinden yararlanılmıştır (Hengl et al., 2016). Yararlanılan başlıca uzaktan algılama veri kaynakları;

- MODIS arazi verileri (MODIS Land Products),
 - Uzun ölçekli ortalama aylık kar örtüsü verisi
- SRTM DEM görüntüleri,
- Worldclim iklimsel verileri (aylık yağış verileri),
- Global arazi formları,
- Litoloji haritaları ve Landsat tabanlı Mangrov ormanı dağılımı haritalarıdır.



Şekil 3.11. Soilgrids veritabanının gerçekleştirilmesi aşamasında değerlendirilen toprak örnekleri (Hengl et al., 2016).

Uzaktan algılama verilerinin dışında çalışmada, küresel su derinlik tabloları, ortalama toprak ve sedimentasyon kalınlıkları verileri de kullanılmıştır. Şekil 3.12’de Soilgrids veritabanının oluşturulma mantığı gösterilmektedir.



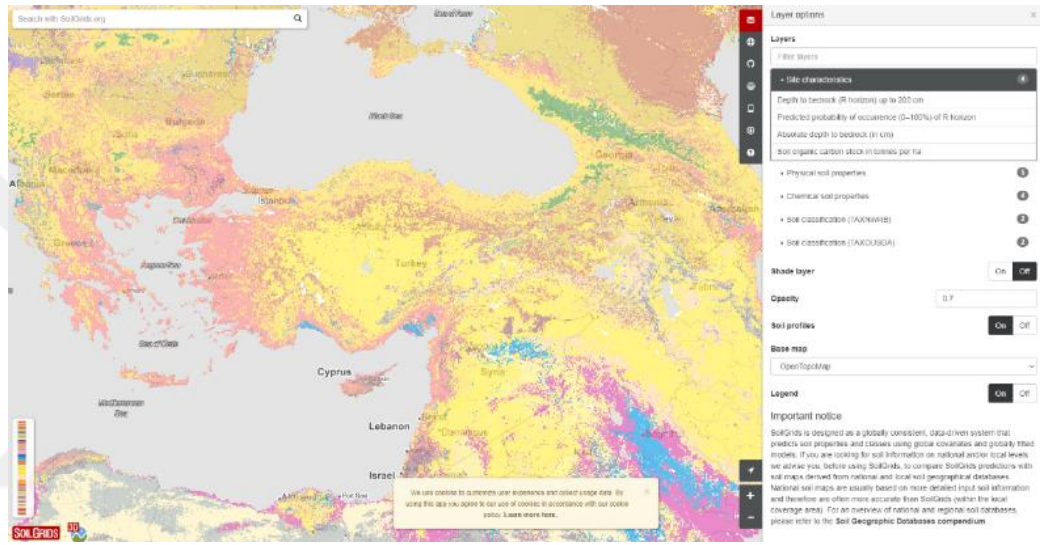
Şekil 3.12. Soilgrids veritabanında bulunan toprak verilerinin oluşturulmasında izlenen basamaklar (Hengl et al., 2016).

Toprak veritabanının R platformundaki makine öğrenme algoritmaları ile çalıştırılması sonrasında arazi örnekleri ile validasyon analizi gerçekleştirilmiş ve

her toprak verisi için doğruluk sonuçları hesaplanmıştır. Doğruluk sonuçları Çizelge 3.13'teki gibidir. Soilgrids veritabanının bulunduğu web sayfasının görünümü ise Şekil 3.13'te verilmektedir.

Çizelge 3.13. Soilgrids veritabanında bulunan toprak verilerinin regresyon sonuçları.

	TOK	pH	Sand	Silt	Clay	KF	KMY	KDK	KOD
R ² (%)	63.5	83.4	78.6	79.4	72.6	55.9	75.8	64.5	54

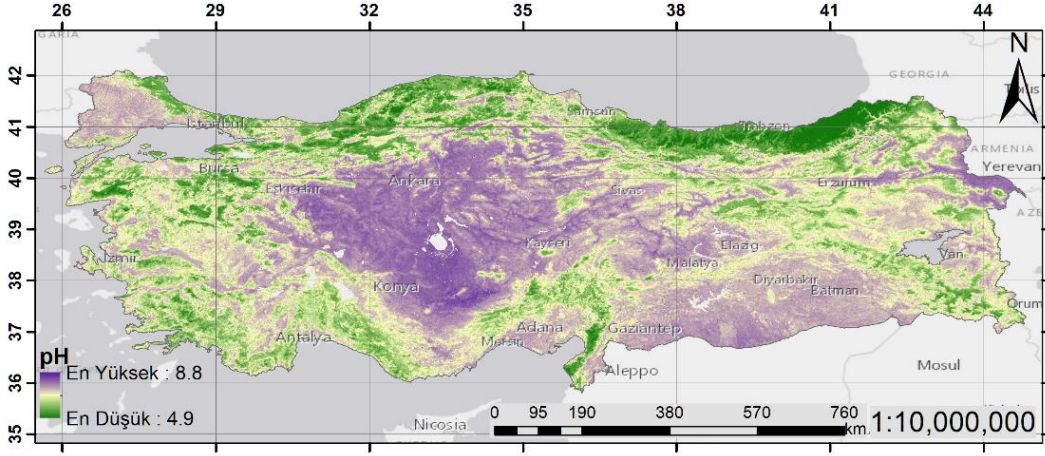


Şekil 3.13. Soilgrids veritabanı (Soilgrids, 2018).

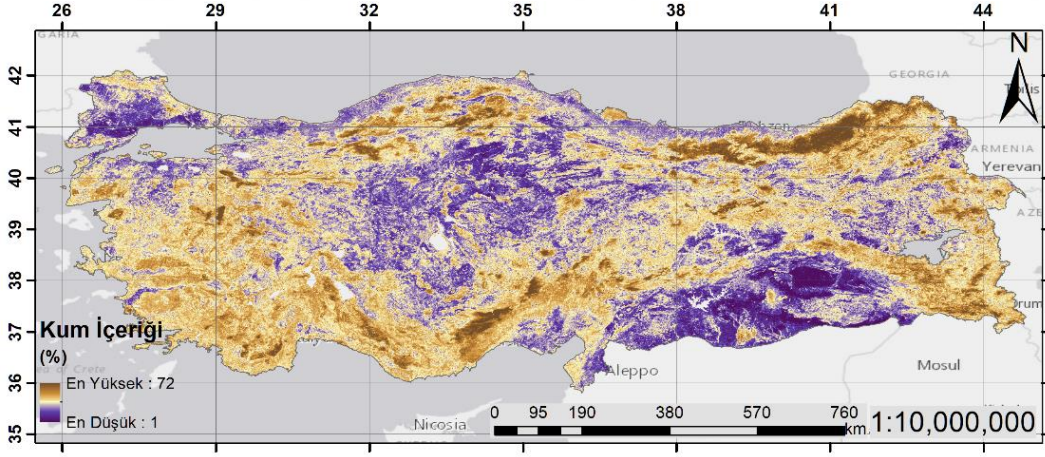
Soilgrids veritabanından, tez çalışmasında kullanılmak üzere elde edilen veriler ise;

- 200 cm derinlik için toprak pH (Şekil 3.14),
- 200 cm derinlik için kum içeriği (%) (Şekil 3.15),
- 200 cm derinlik için kil içeriği (%) (Şekil 3.16),
- Ana kayaya olan uzaklık (R-horizonu) (cm) (Şekil 3.17) şeklindedir.

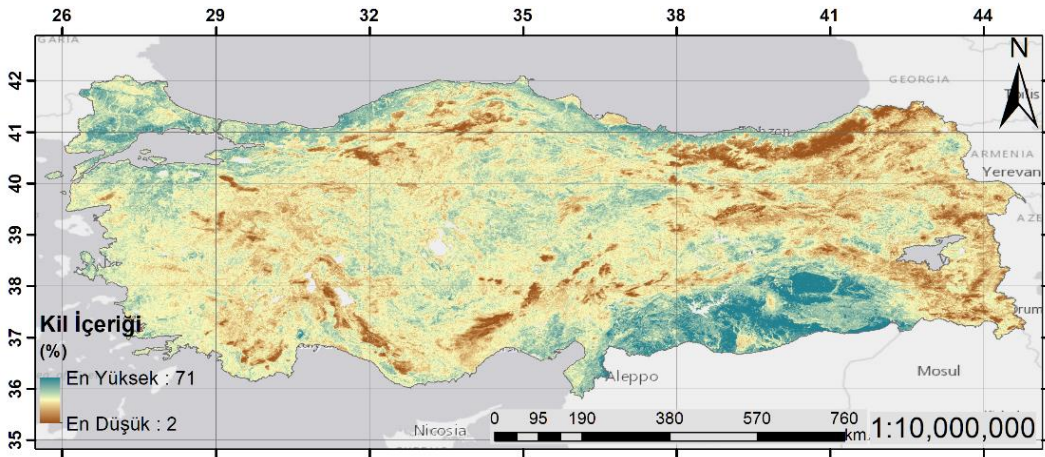
Bu veriler tüm Türkiye için toplam 90 pafta olacak şekilde indirilmiş ve ArcGIS ortamında birleştirilmiştir.



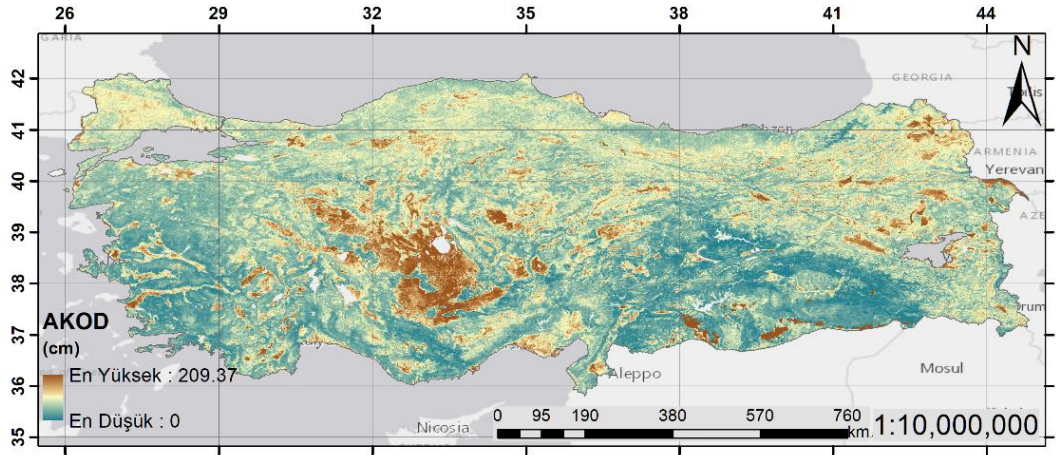
Şekil 3.14. Toprak pH.



Şekil 3.15. Toprak kum içeriği (%).



Şekil 3.16. Toprak kil içeriği (%).



Şekil 3.17. Toprak R-horizonu (cm).

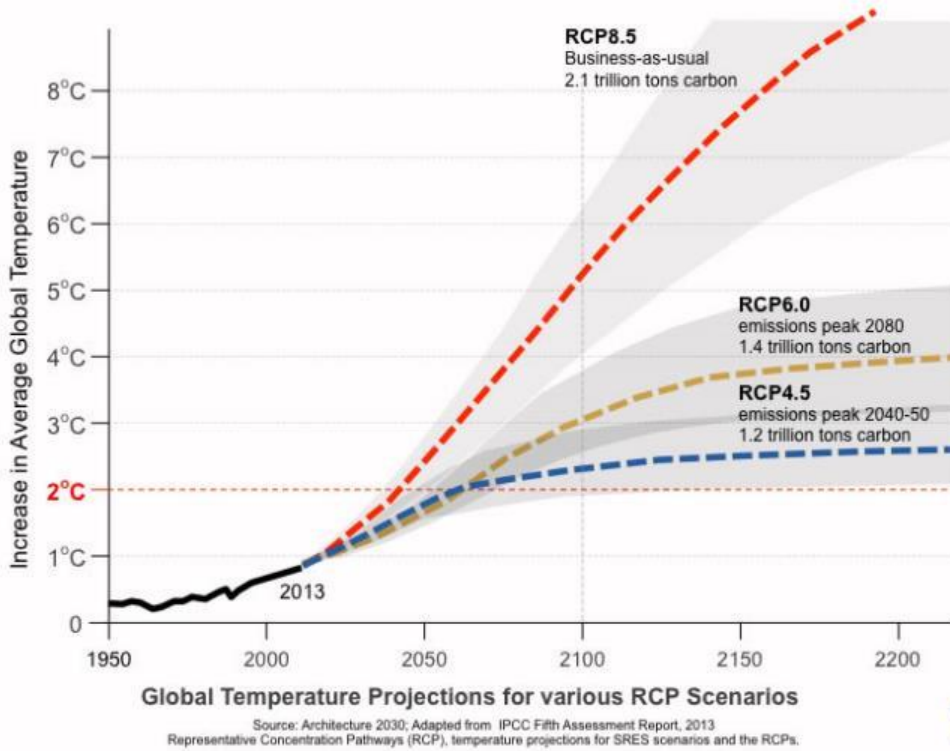
3.5.2 İklim veri setleri ve kullanılan iklim senaryosuna dair bilgiler

Tez çalışması kapsamında kullanılacak iklim verileri Worldclim 1.4 veritabanından (1) günümüz için 1970-2000 yıllarının ortalaması (referans periyot) ve (2) 2050 yılı için HADGEM2-ES RCP 4.5 projeksiyonuna göre 2041-2060 ortalamasıdır (gelecek periyodu). Bu veriler içinde aylık toplam yağış (mm), aylık ortalama sıcaklık (°C), aylık ortalama maksimum sıcaklık (°C) ve aylık ortalama minimum sıcaklık (°C) katman verileri bulunmaktadır. İlerleyen paragraflarda gelecek iklim senaryosunun hangi sebepler ile seçildiği detaylandırılacaktır.

Geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarının oluşturulmasında, tez çalışmasında Küresel İklim Modeli (GCM) kullanılmıştır. GCM’ler atmosfer, okyanuslar, biyosfer ve kriyosferi doğru biçimde benzetmek için süper bilgisayar altyapısı ile oluşturulmuş matematiksel modellerdir. Bu modeller tarafından simüle edilen hava, kısmen sera gazlarının varsayılan atmosferik konsantrasyonuna bağlıdır. Bu modeller, iklim etmenlerinin gelecek değerlerini Temsili Konsantrasyon Rotaları (Representative Concentration Pathways - RCP) adı ile bilinen emisyon senaryoları ile kestirir (Van Vuuren et al., 2011).

Burada “Emisyon senaryoları”, gelecekte sera gazlarının öngörülen atmosferik konsantrasyonlarını açıklamaktadır. Bu nedenle, gelecekte belirli bir süre için öngörülen iklim koşulları ve uzun periyotlar için iklim projeksiyonları, farklı canlı türleri veya farklı konumsal özelliklere göre hazırlanmaz; burada projeksiyonlar, kullanılan modele ve emisyon senaryosuna ve aynı zamanda model çalışmasına bağlıdır. İklimin geleceğini tasvir eden ve genel olarak iklim

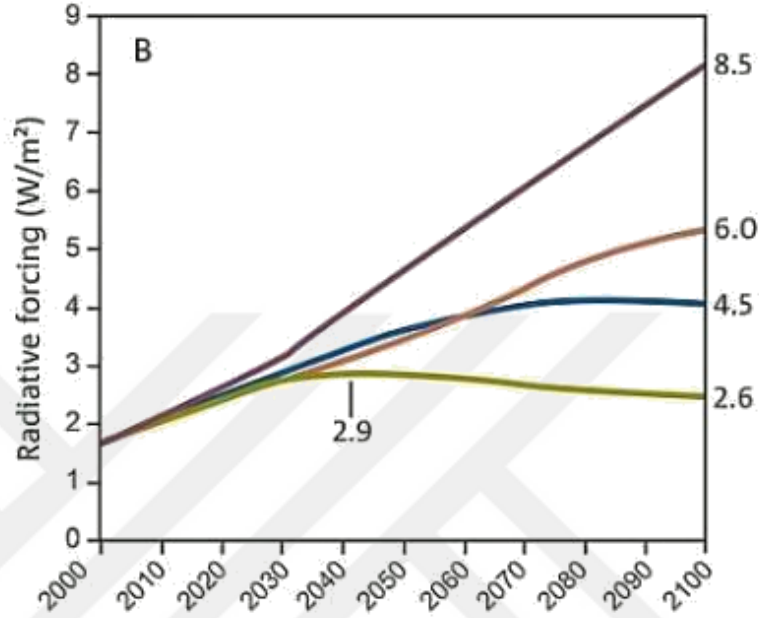
modellemeleri ve araştırmaları için tercih edilen 4 adet konsantrasyon yolağı bulunmaktadır. RCP'ler temelde emisyon senaryosu olmanın yanında ışımsal zorlama senaryolarıdır. Her senaryo 2100 yılında tropopozdaki ışımsal zorlamanın sanayi devrimi öncesi değerlere göre değişimini gösteren değere bağlıdır. Bu değerler ise RCPlere adını vermektedir: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 (W/m^2) (van Vuuren et al., 2011). Burada belirtilen RCP'ler düşük ışımsal zorlama seviyesine sahip bir azaltma senaryosu (RCP 2.6), iki orta dereceli dengeleme senaryosu (RCP 4.5 ve RCP 6) ve bir tane çok yüksek referans değeri içeren emisyon senaryosu (RCP 8.5) içerir (Jubb et al., 2013) (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Farklı RCP senaryoları için küresel sıcaklık projeksiyonları (Architecture 2030, 2013).

RCP 4.5, sera gazlarından, arazi kullanım ve arazi deseni değişikliklerinden kaynaklı emisyonların 2100 yılında $4.5 W/m^2$ 'lik ışımsal zorlamaya sabitleneceğine yönelik bir iklim senaryosudur. Şekil 3.19'da görüldüğü üzere RCP 4.5 senaryosu için küresel CO_2 emisyonunun maksimuma ulaştığı yıl 2040 ile 2050 dolayındadır. Küresel ortalama sıcaklıklarda 2050 yılında RCP 4.5 için $2^\circ C$ 'lik bir artış öngörülmektedir. Günümüzde ise küresel CO_2 emisyonu seviyesi 414 ppm civarında ve küresel yıllık ortalama sıcaklık değeri anomalisi (1951-1980 referans yılları için) $0.8^\circ C$ 'dir (NASA, 2018). RCP 4.5 senaryosunda atmosferik CO_2

seviyesi 2050 yılında maksimuma ulaşmakta, 2100 yılında ise 550-650 ppm civarında kalmaktadır (van Vuuren et al., 2011). Bu senaryoya göre 2050 yılında sera gazı emisyonu 1.2 trilyon ton karbona ulaşacaktır. Bunun yanı sıra ışınsal zorlama değeri 2050 yılı için yaklaşık 4 W/m² civarındadır (Şekil 3.19) (Climate Change in Australia, 2016).



Şekil 3.19. Işınsal zorlama projeksiyonları (Climate Change in Australia, 2016).

İklim verileri, kullanılan emisyon senaryosuna göre ve iklimin stokastik bir süreç olmasından dolayı farklı araştırma merkezleri tarafından farklı şekillerde geliştirilmiş olup IPCC'nin toplantılarında üretilen raporlar ile ilişkilendirilmektedir. Bu iklim verileri, farklı GCM-RCP'lerin veri setlerinin içinde bulunmaktadır. Farklı araştırma merkezleri farklı GCM-RCP'ler üretmektedirler. Çoğu iklim modeli son derece ayrıntılıdır ve takip ettikleri bileşenlerin gidişatını hesaplamak için süper bilgisayarlara ihtiyaç duyar. Diğer bazı basitleştirilmiş modeller ise iklimsel değişikliğinin sadece tarımsal üretim, bitki adaptasyonu, deniz seviyesi yükselmesi ya da sıtmaya neden olan sineklerin coğrafi yayılımı üzerindeki etkileri gibi spesifik sonuçların projeksiyonuna odaklıdır (Nordhaus, 2020). Tez çalışmasında da süper bilgisayarlar ile üretilen iklim veri setleri, basit ve spesifik bir model (BİUM) için kullanılmıştır. İklim veri setleri ilerleyen aşamalarda anlatılacak BİUM modelinin sadece girdisidir. Haritalama için doğrudan kullanılmamıştır. Tez çalışması kapsamında gelecek iklimsel uygunluğunun tahminlenmesinde kullanılan iklimsel veriler ise 2050 için

(2041-2060 ortalaması esas alınarak) temin edilmiştir. Gelecek iklimsel verilerin temini için IPCC'nin 5. değerlendirme raporunda ortaya koyduğu RCP'lerden **RCP 4.5** ve GCM'lerden **Birleşik Krallık Meteoroloji Ofisinin Hadley Merkezinin Dünya Sistemi Modeli (ESM) (HadGEM2-ES)** modelinden elde edilen verilerden yararlanılmıştır.

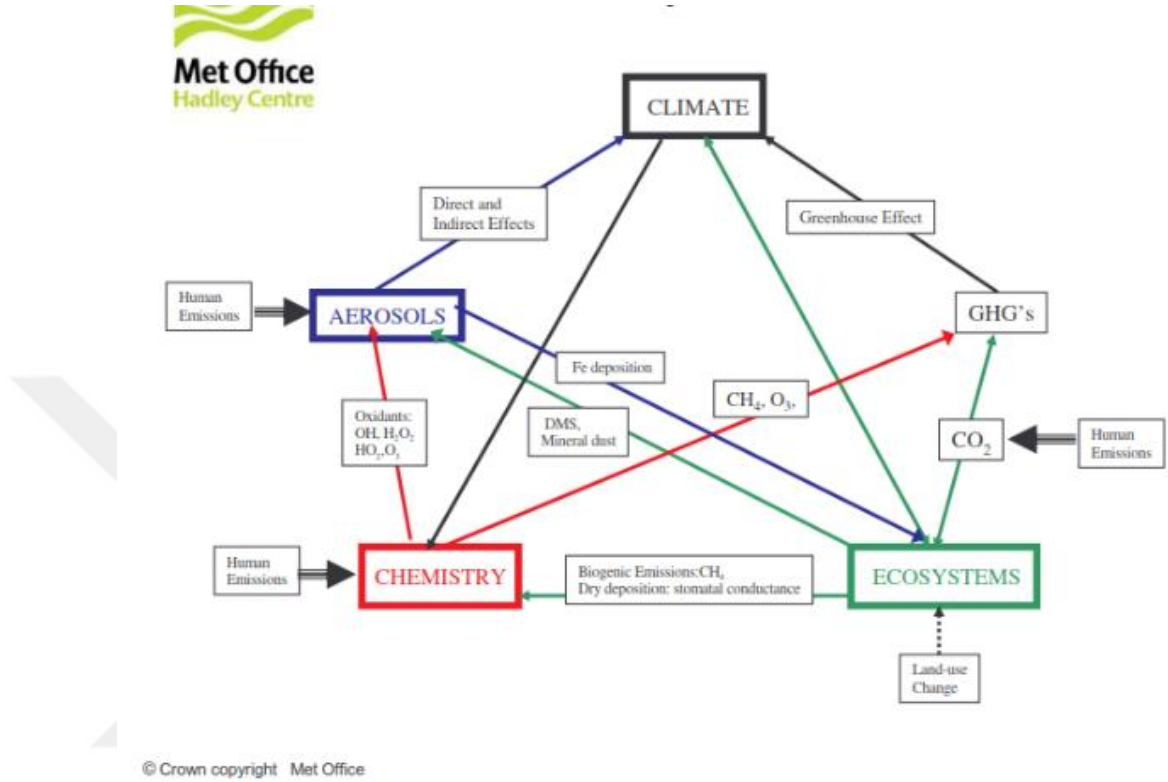
RCP 4.5 temsili konsantrasyon yolağının tez çalışması kapsamında tercih edilmesinin bazı sebepleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Küresel ölçekte en fazla tercih edilen senaryolar RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarıdır (IPCC, 2013).
- RCP4.5 ise orta bir dengede tutma yolağıdır.
- Bu senaryoya göre radyatif zorlama değerinin 2100 yılında 4.5 W/m^2 'ye, eşdeğer CO_2 konsantrasyonlarının ise 650 ppm dolayına ulaşması varsayılmaktadır (Thomson et al., 2011).
- Bu senaryonun diğer senaryolara göre iki avantajı bulunmaktadır (1) yüksek yolak ile arasındaki farktan dolayı çok iyi sinyal elde edilebilmesi, (2) literatürde bu yolak ile ilgili çok sayıda yayınlanmış çalışmanın bulunmasıdır (Demircan vd., 2017).

RCP 4.5 senaryosu, yüzyılın ortasında sera gazı emisyonlarında 2000 yılı emisyon değerinin %50'si kadar artış öngörmektedir (2050=520-550 ppm). Bu senaryonun oluşumuna ormanlaştırmanın artması hususu dahil edilmiştir (Furphy, 2013). Yapılan tez çalışması aynı zamanda ormanlaştırmanın artışının incelediğinden dolayı RCP 4.5, tez çalışmasının gelecek projeksiyonu analizleri için oldukça uygundur.

Tez çalışmasında incelenen HadGEM-ES (Hadley Centre Global Environment Model – Earth System) genel sirkülasyon modeli Hadley Meteoroloji Merkezinin standart iklim modelidir. HadGEM2 model konfigürasyonu atmosfer, okyanus ve deniz buzulu bileşenlerini içermekte, Dünya Sistemi bileşenleri ise yeryüzü ekosistemleri (dinamik vejetasyon), karasal ve okyanussal karbon döngüsünü, aerosoller ve atmosferik kimyayı bünyesinde barındırmaktadır (Şekil 3.20). Burada iklim bileşenlerinin geri besleme mekanizmaları modele entegre

edilmekte ve modeller günümüze göre kalibre edilerek geleceğe yönelik projeksiyon üretmektedir. Atmosferik kimyanın değişimi, bunun sonucunda geri besleme mekanizmalarının değişmesi HadGEM modelleri atmosfer ekseninde yaklaşık 40 km, okyanus ekseninde 5 m'dir (Collins et al., 2008).



Şekil 3.20. HADGEM2-ES tarafından oluşturulan GCM'nin ele aldığı geri-besleme mekanizmaları (https://www.ukca.ac.uk/images/8/80/Ukca_as_part_of_hadgem2es.pdf).

GCM'lerin yersel çözünürlükleri oldukça düşük olduğundan bölgesel çalışmalarda detayları içeremez ve bulutlar ve topografya gibi önemli yüksek çözünürlüklü özellikleri çözemezler. Bu modellerin yersel çözünürlüğü yüzlerce kilometre boyunca oldukça ham kalmaktadır ve bu ölçekte, bölgesel yersel heterojenliklerden etkilenen iklimin bölgesel ve yerel detayları kaybolmaktadır. Bu da bölgesel çalışmalarda GCM veri setlerinden doğrudan alınan verilerin kullanılmasının uygun olmayacağını bize göstermektedir. Ancak bu veriler bölgesel ve lokal çalışmaların yapılması amacı ile ölçek küçültme metodları (downscaled) ile yüksek çözünürlüklü hale getirilmektedir. Tez çalışması kapsamında da coğrafi uygunluğun sağlanması için ölçek küçültülmüş iklim verileri kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen hususlar doğrultusunda, iklim verileri 1 km yersel çözünürlüğe sahip **Worldclim 1.4** veritabanından alınmıştır. WorldClim 1.4 veritabanında GCM'lerden üretilen iklim projeksiyonları, ölçek küçültmesi yapılmış ve kalibrasyonu gerçekleştirilmiş verilerdir. Worldclim veritabanının oluşturulmasında birçok veri setinden yararlanılmıştır (Fick and Hijmans, 2017). Bu veri setlerinin içinde;

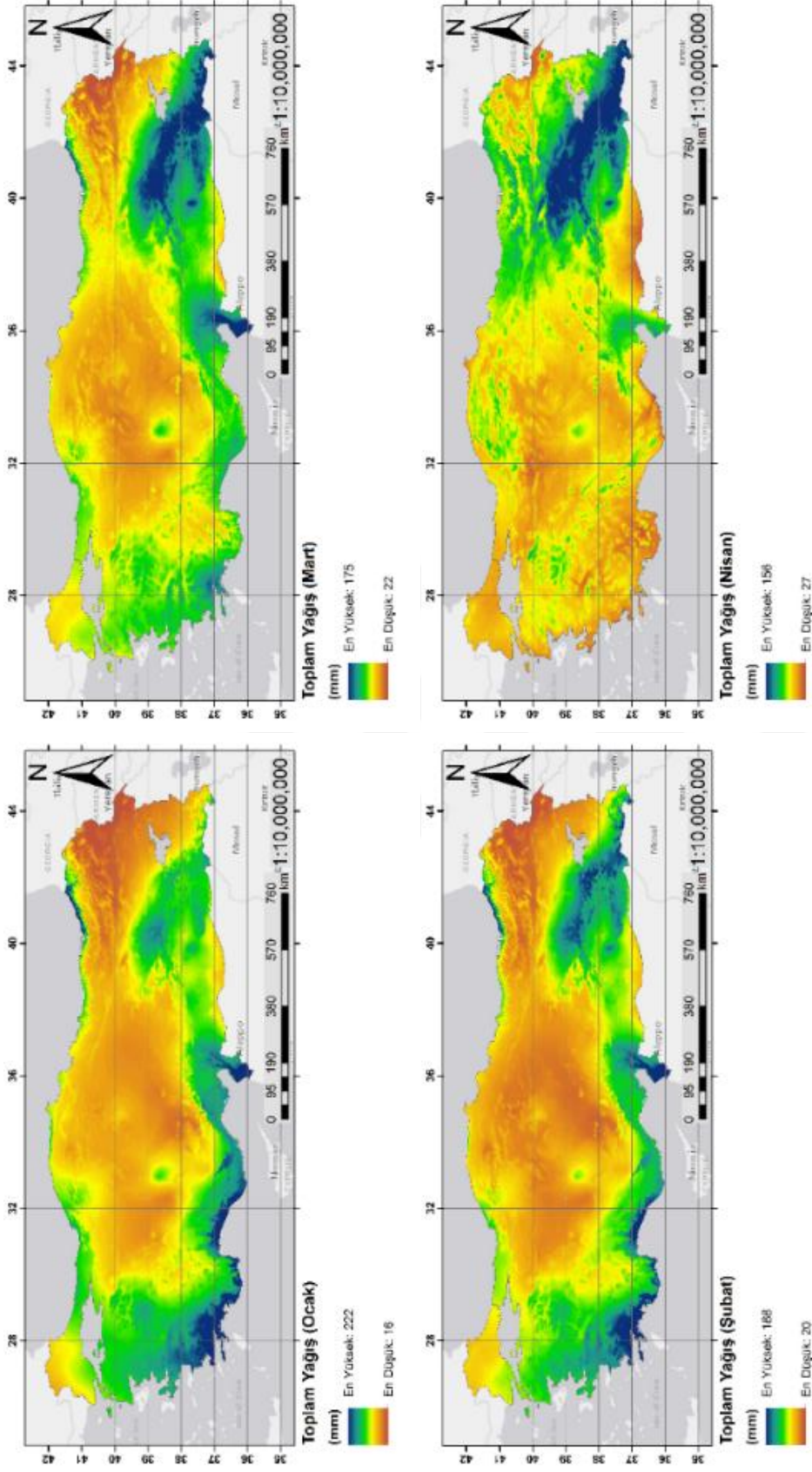
- (1) SRTM ve GTOPO 30 yükseklik verileri
- (2) Tropik bölgeler için CIAT'a ait (Center for Tropical Agriculture in Colombia) tmin, tmax, tavg, prec verileri
- (3) Avrupa için ECAM'in içerdiği (European Climate Assessment and Dataset monthly) tmin, tmax, tavg, prec, vp verileri
- (4) The Berkeley Earth projesinin içerdiği küresel tmin, tmax, tavg verileri
- (5) FAOCLIM 2.0 küresel iklim veritabanının içerdiği tmin, tmax, tavg, prec, vp, sol, wind verileri
- (6) Oxford Malaria Atlas Projesi'nin içerdiği boşlukları doldurulmuş yüzey sıcaklık verileri (5 km – küresel)
- (7) MOD09GA bulut örtüsü verisi (1 km – küresel) bulunmaktadır (Fick and Hijmans, 2017).

Verilerin türetilmesi için minimum 9000, maksimum 60000 hava istasyonundan yararlanılmıştır. Hava istasyonu verileri, yükseklik, sahillere olan uzaklık ve uydu verisinden türetilmiş üç kovaryans (maksimum ve minimum yüzey sıcaklıkları ve bulut örtüsü) ile thin-plate spline yöntemi aracılığıyla enterpole edilmiştir. Küresel validasyon işlemi sonrasında Worldclim verilerinin korelasyon değerleri sıcaklık ve nemlilik için 0.99 ve yağış için 0.86, rüzgâr için 0.76 olarak bulunmuştur.

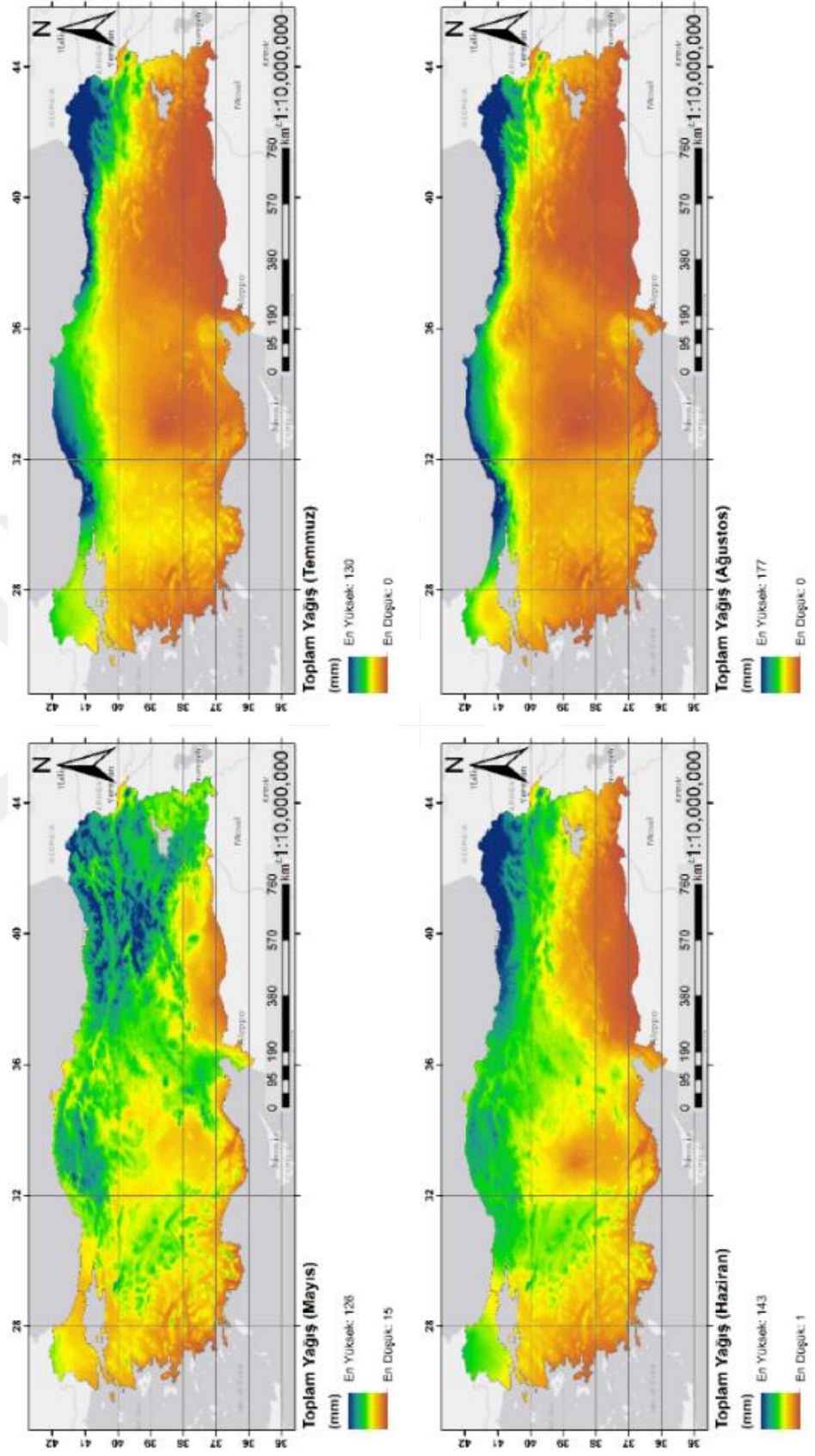
Worldclim veritabanından (Worldclim, 2020) alınan ve günümüz (1970-2000 ortalamasına göre) iklimsel uygunluğunun tespit edilmesinde kullanılan iklimsel veriler;

- (1) Uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık toplam yağışın alansal dağılışı verileri (mm) (Şekil 3.21),
- (2) Uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama sıcaklığın alansal dağılışı verileri ($^{\circ}\text{C}$) (Şekil 3.22),
- (3) Uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama maksimum sıcaklığın alansal dağılışı verileri ($^{\circ}\text{C}$) (Şekil 3.23),
- (4) Uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama minimum sıcaklığın alansal dağılışı verileri ($^{\circ}\text{C}$) (Şekil 3.24), şeklindedir.

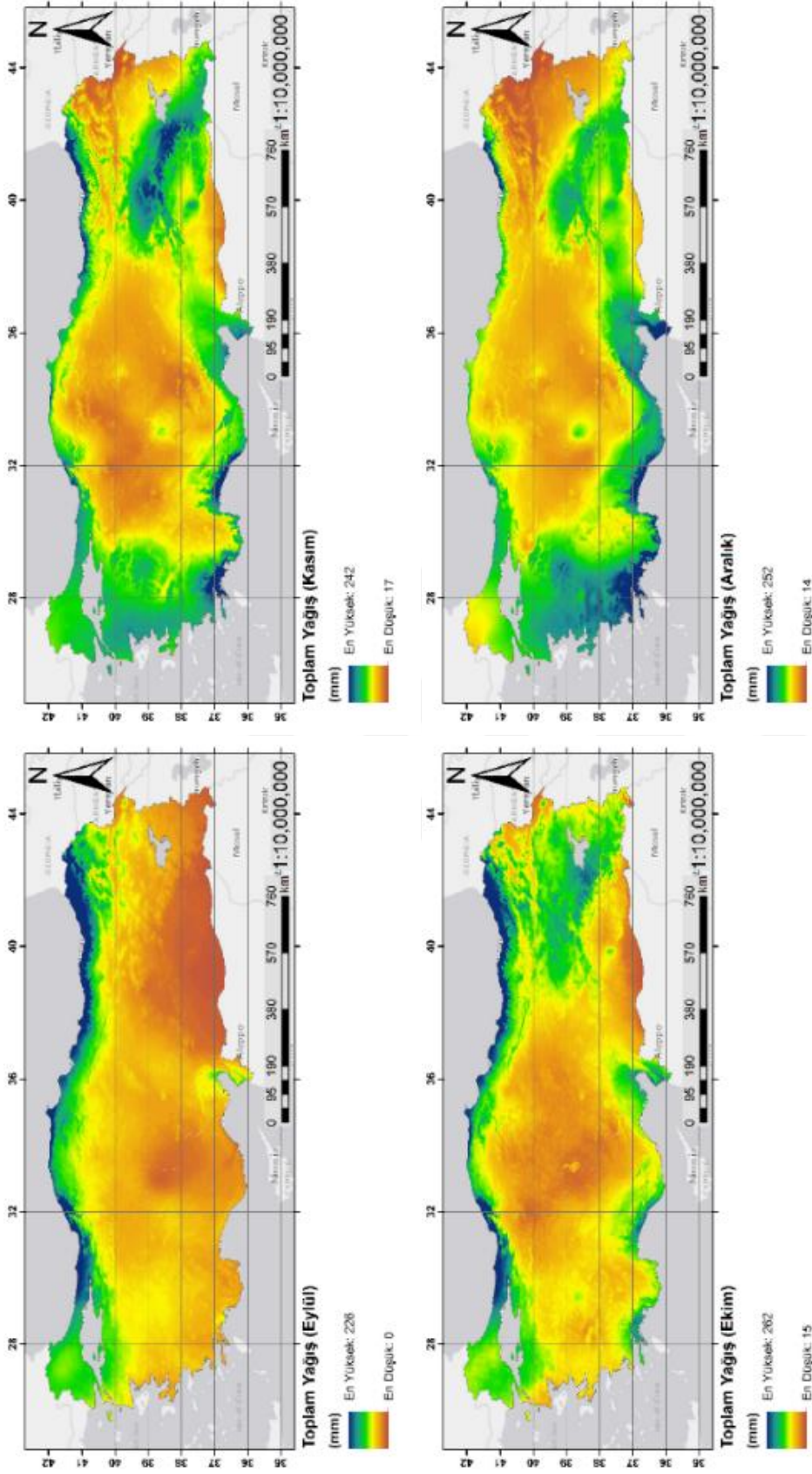




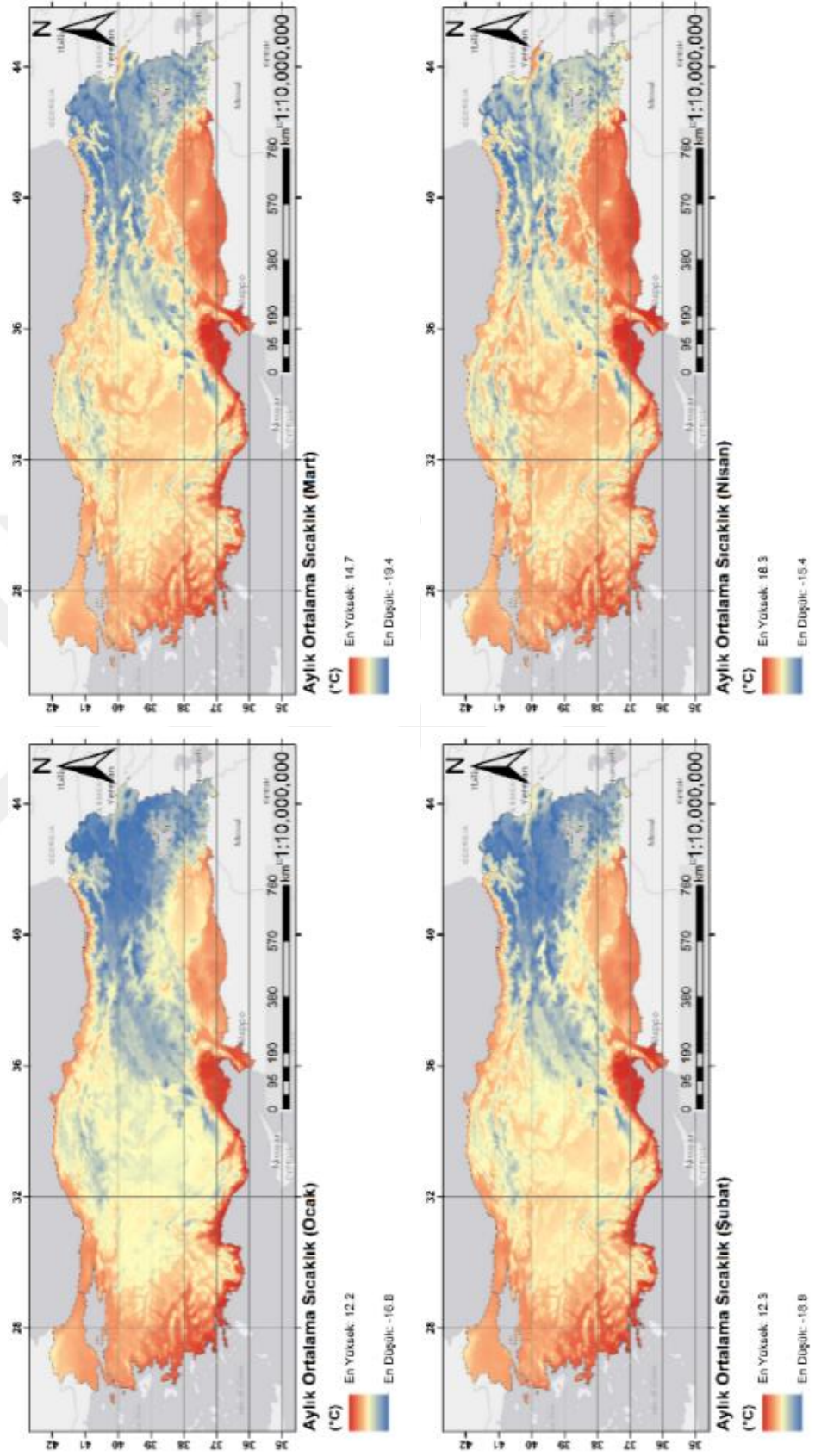
Şekil 3.21. Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık toplam yağışın alansal dağılış verileri (mm).



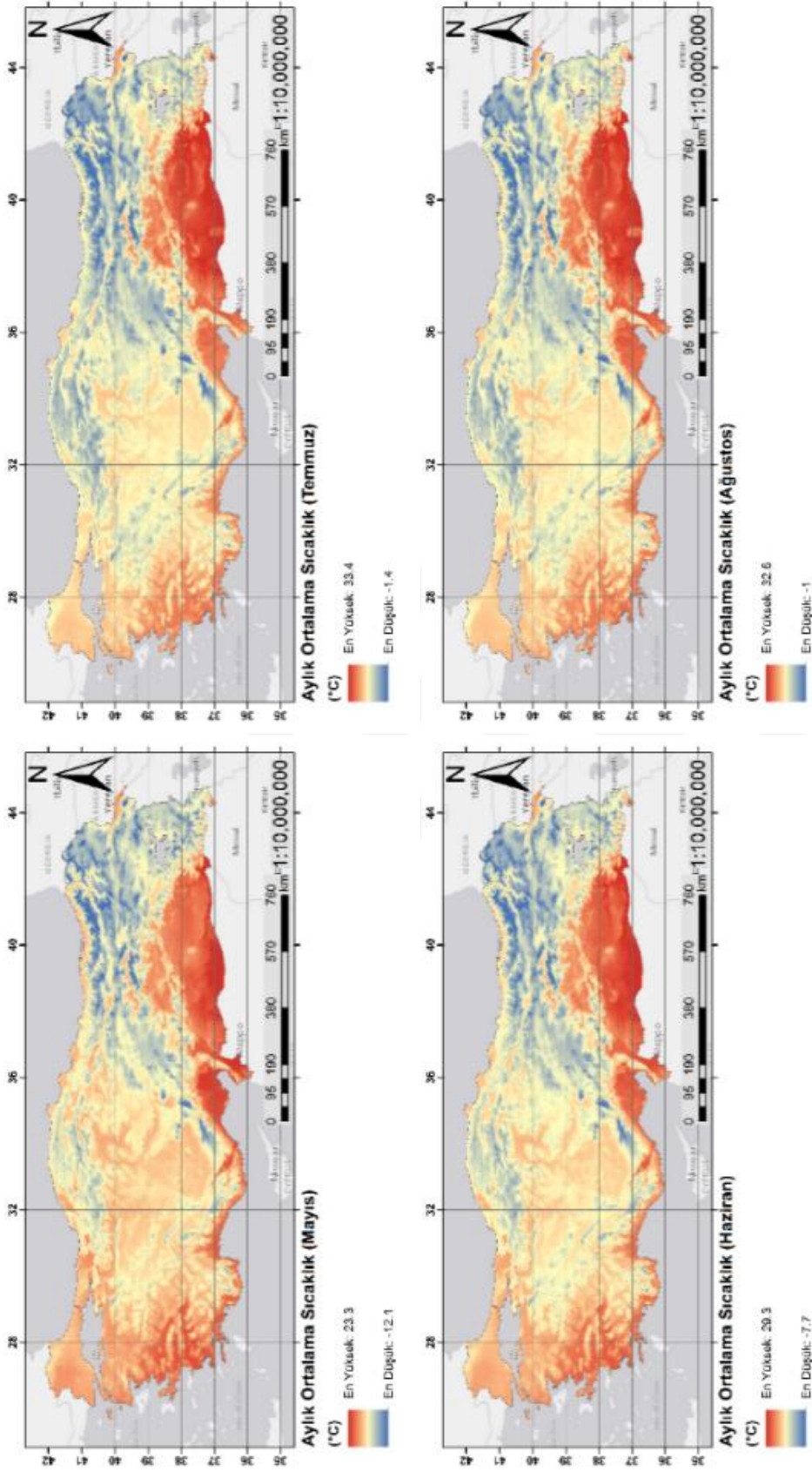
Şekil 3.21(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık toplam yağışın alansal dağılış verileri (mm).



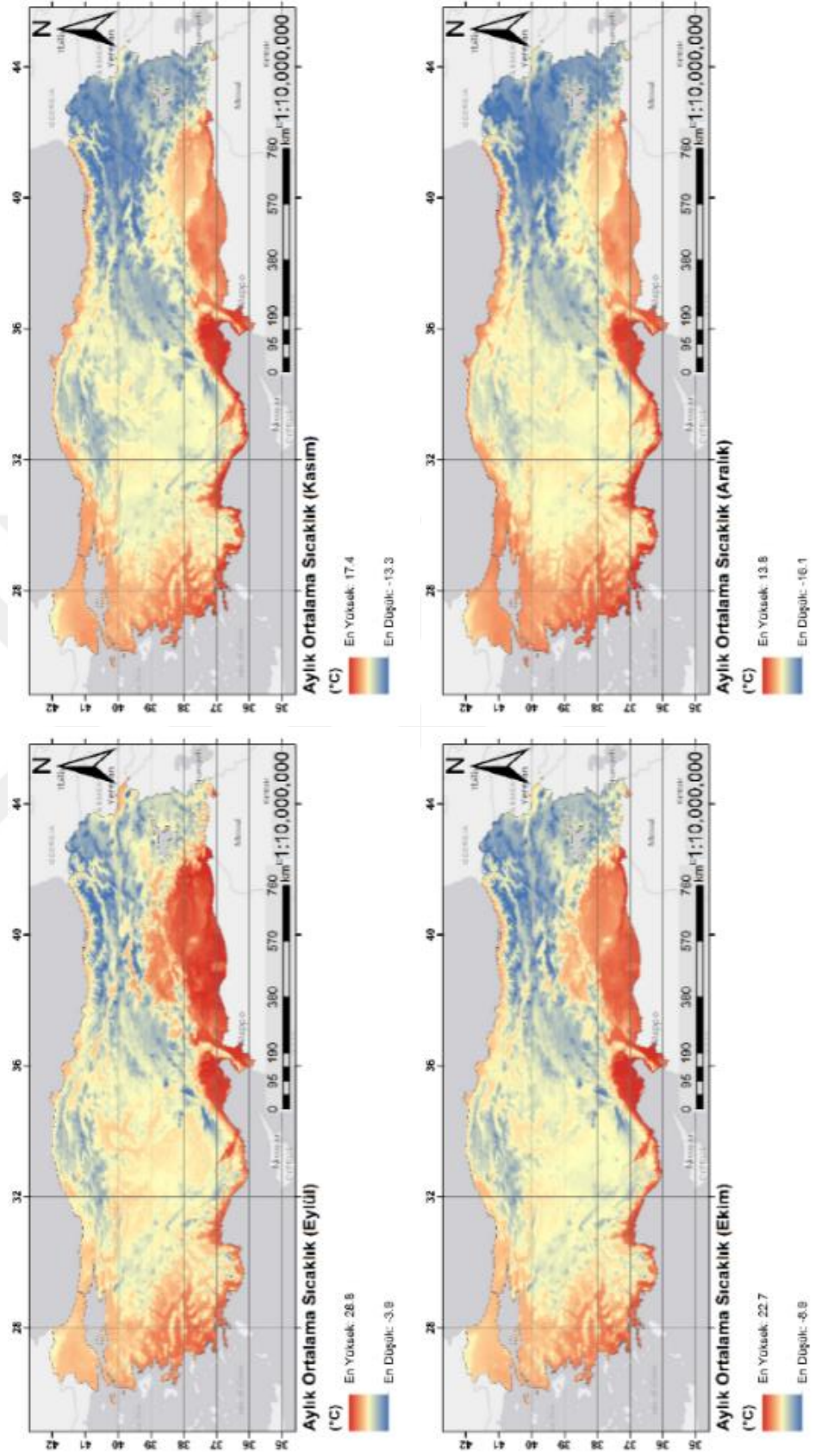
Şekil 3.21(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık toplam yağışın alansal dağılış verileri (mm).



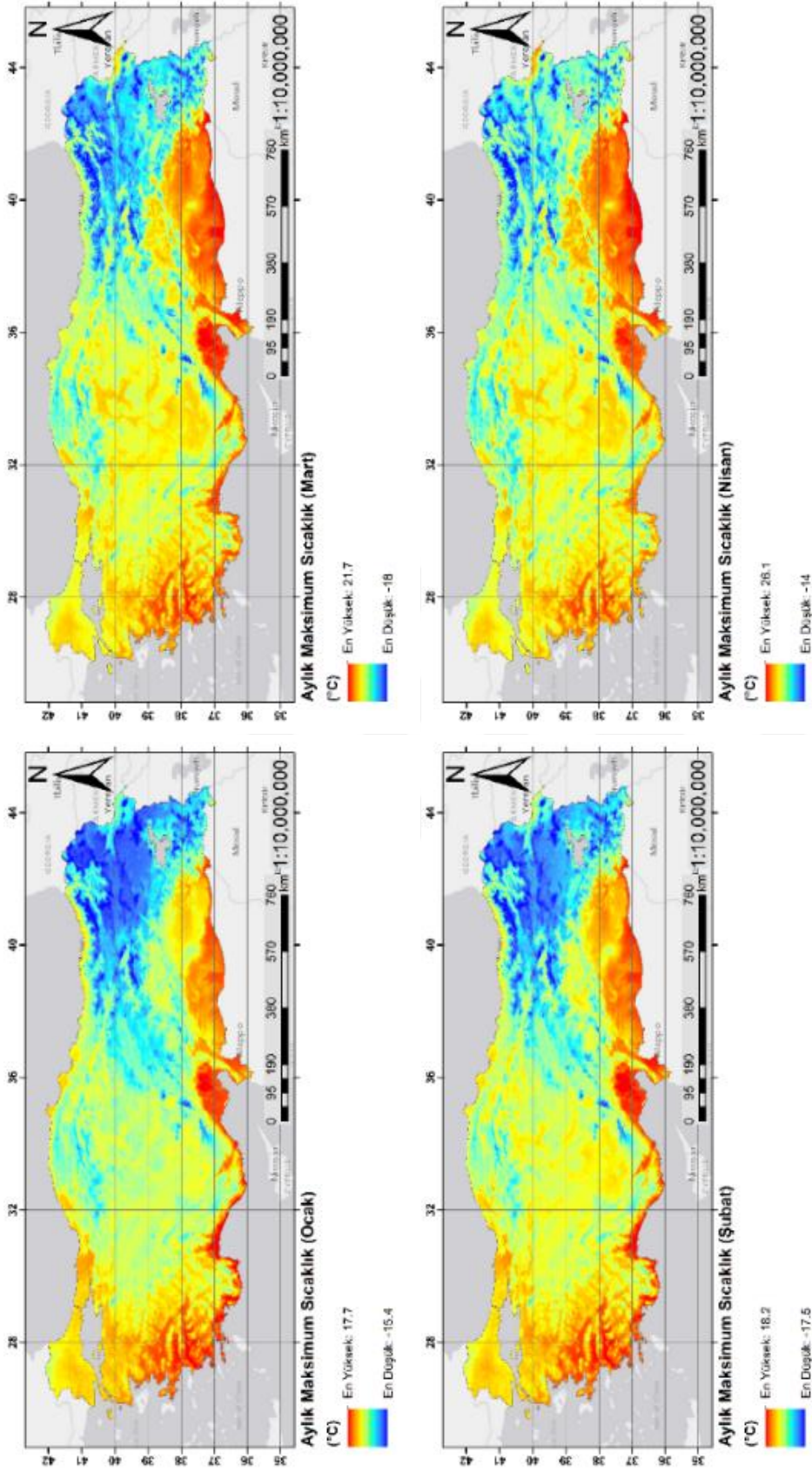
Şekil 3.22. Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama sıcaklığın alansal dağılışı verileri (°C).



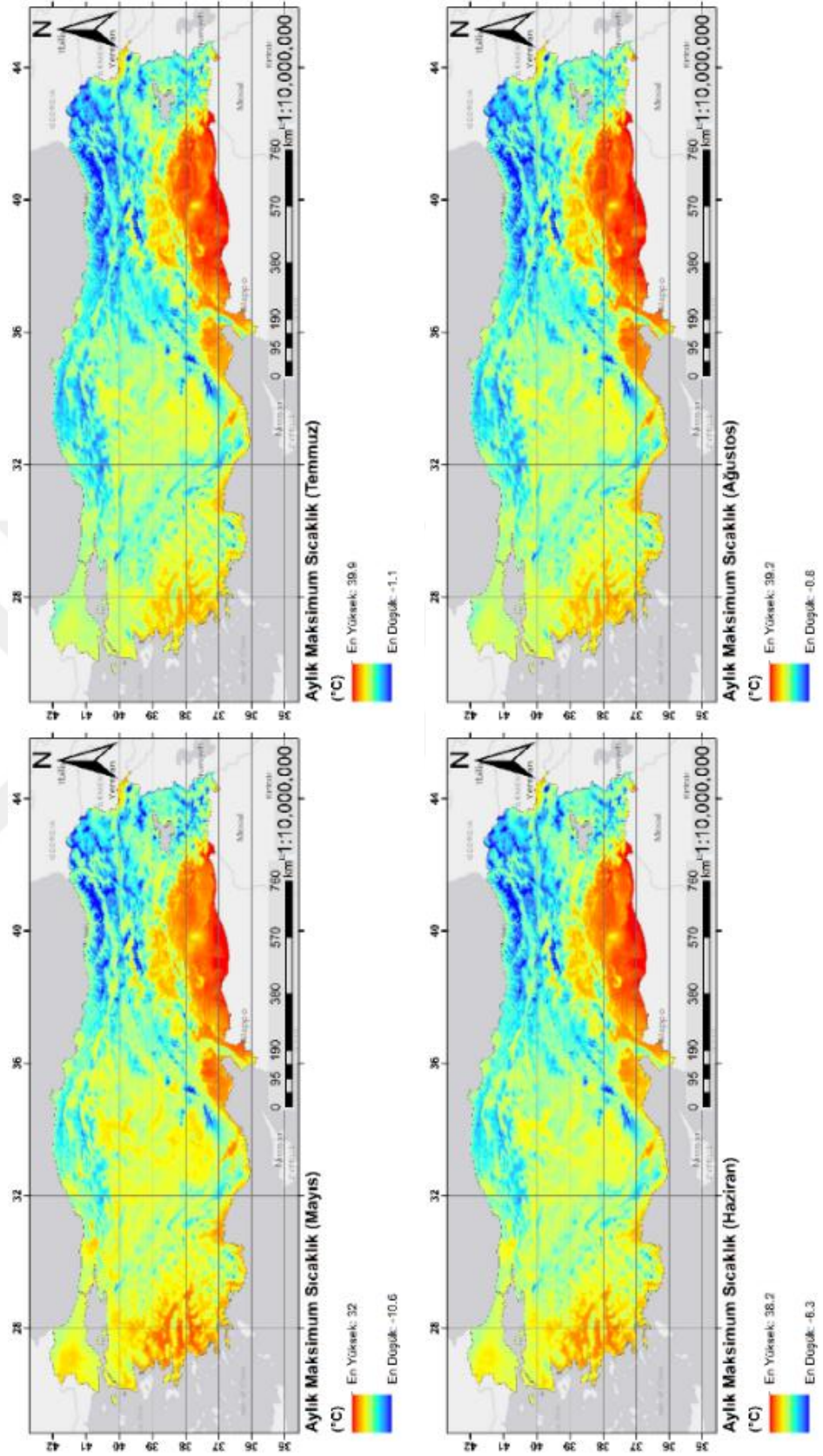
Şekil 3.22(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).



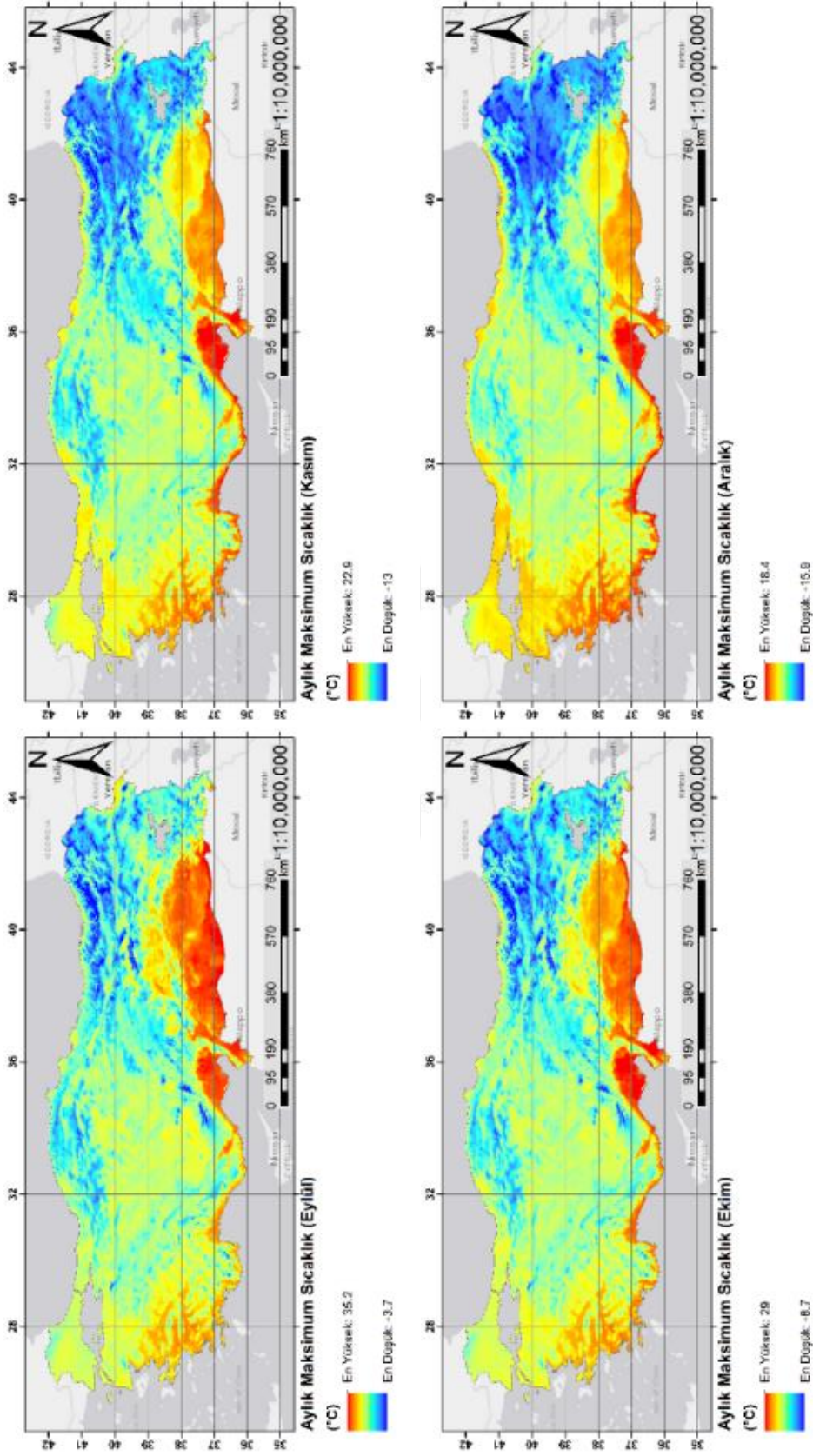
Şekil 3.22(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).



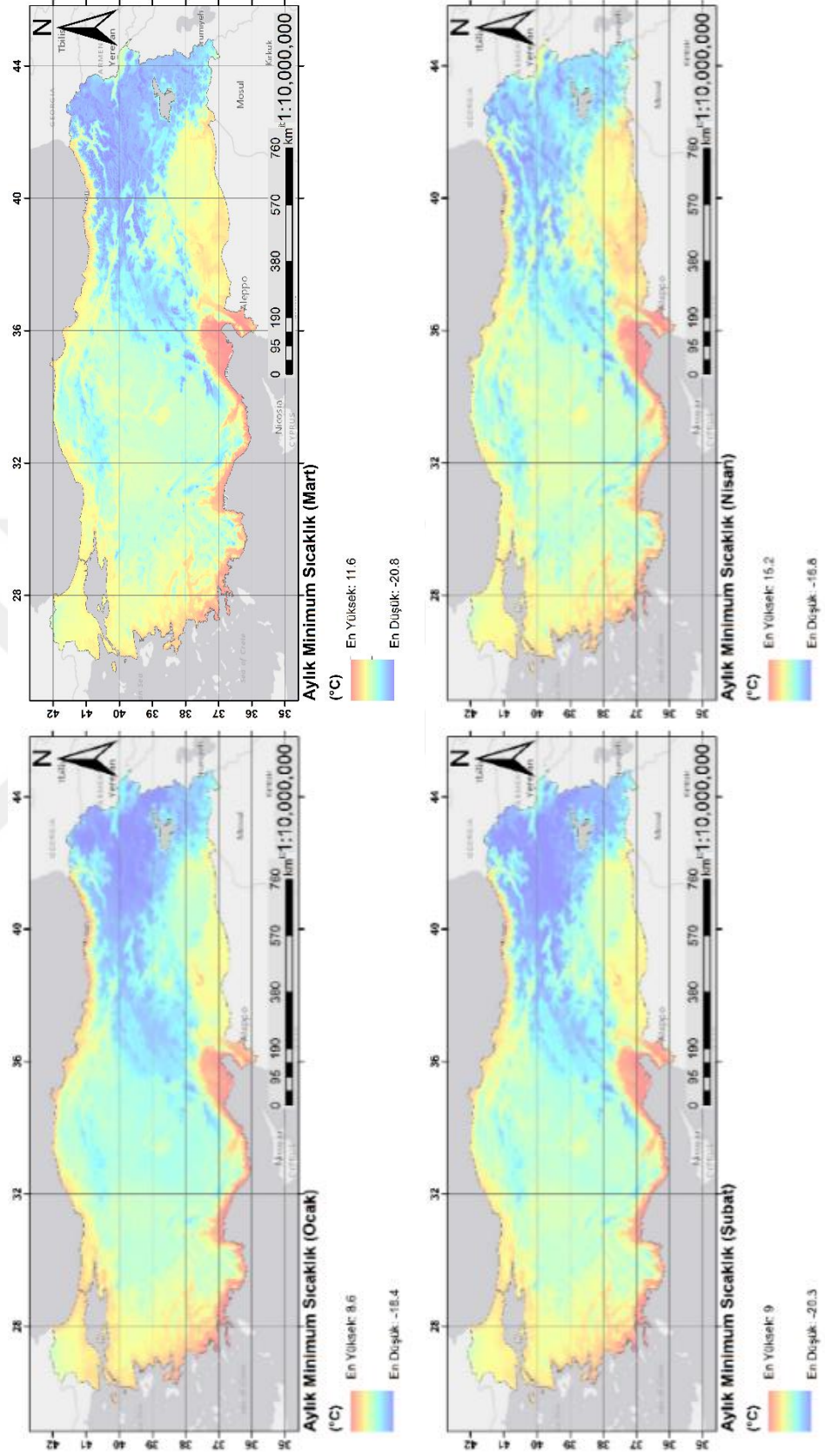
Şekil 3.23. Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama maksimum sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).



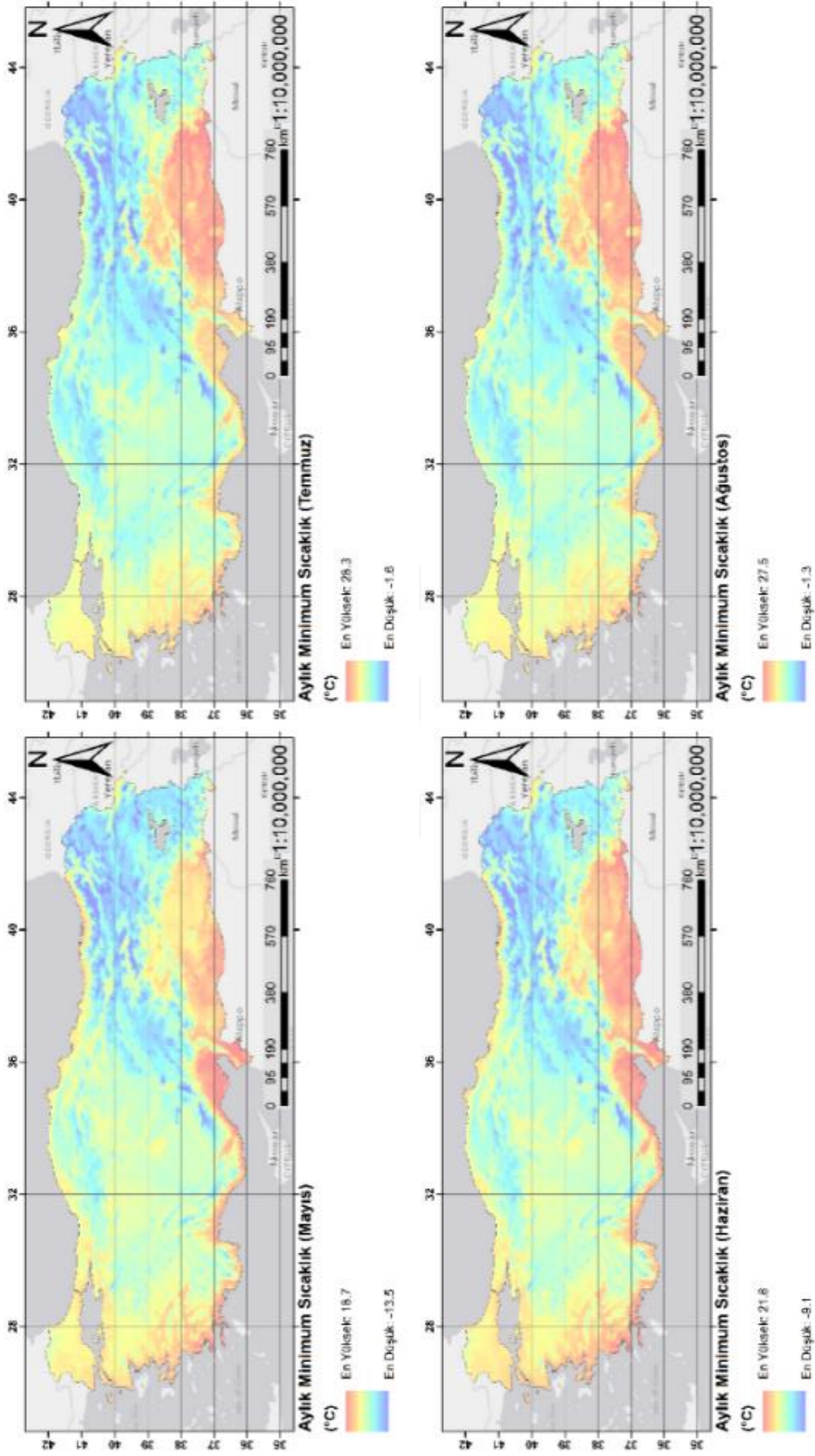
Şekil 3.23(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama maksimum sıcaklığın alansal dağılışı verileri (°C).



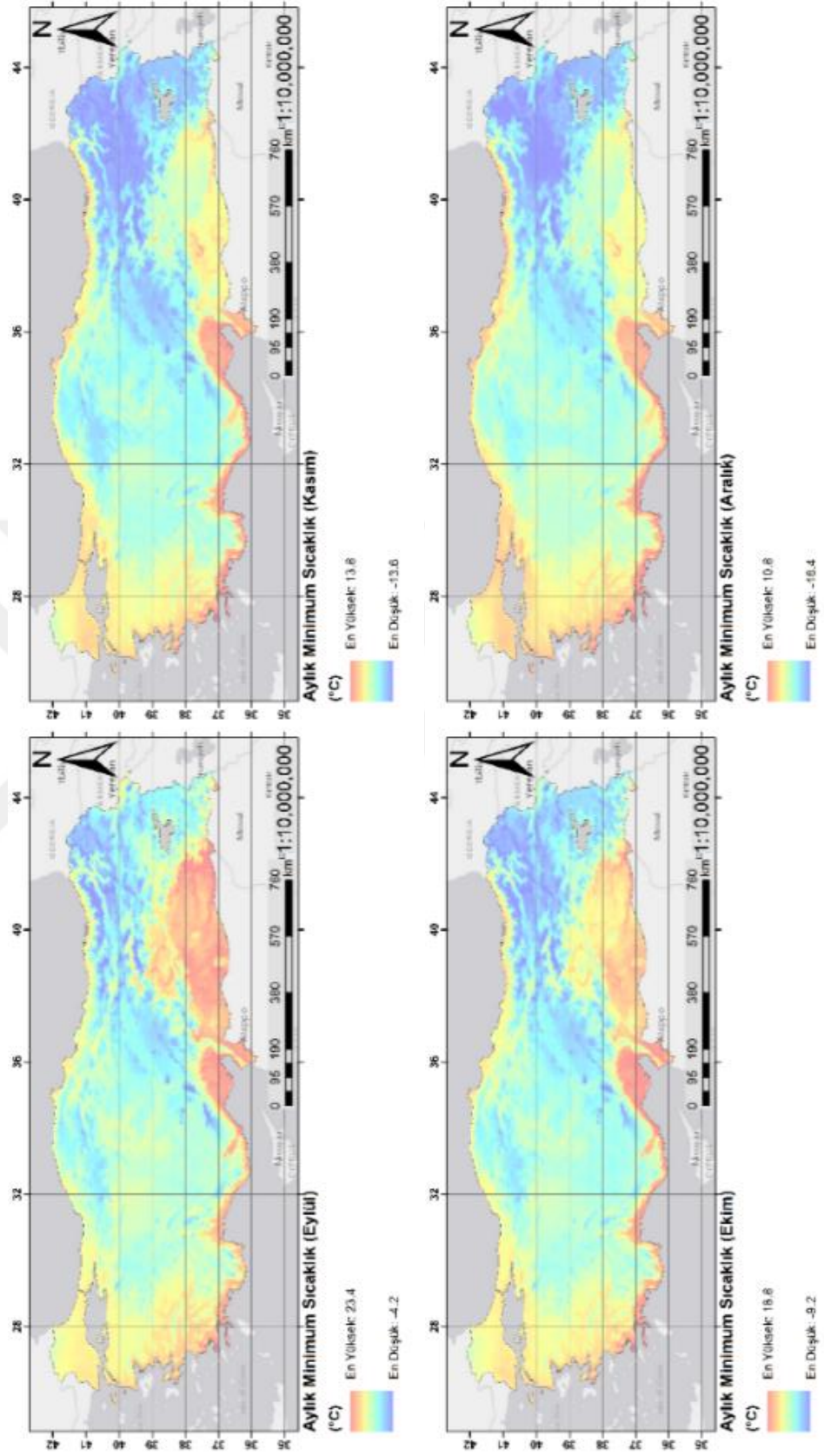
Şekil 3.23(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama maksimum sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).



Şekil 3.24. Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama minimum sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).

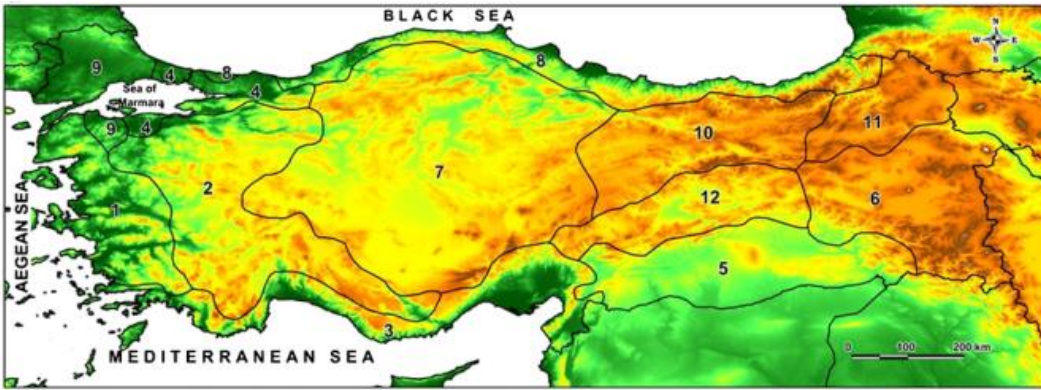


Şekil 3.24(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama minimum sıcaklığın alansal dağılış verileri (°C).



Şekil 3.24(devamı). Türkiye’de uzun dönem ortalamalarına göre (1970-2000) göre aylık ortalama minimum sıcaklığın alansal dağılışı verileri (°C).

İklim bölgeleri: Tez çalışmasında bitkilerin yetişmesini belirleyen en önemli ekolojik faktörün iklim olduğu gözönüne alınarak, Türkiye’deki coğrafi bölge ayrımı yerine İyigün et al., (2013) tarafından Ward modeline göre belirlenen iklim bölgeleri esas alınmıştır (Şekil 3.25). Ward metodu, hiyerarşik küme analizinde uygulanan bir kriterdir. İyigün et al., (2013) tarafından belirtildiği üzere hiyerarşik küme analizleri, özellikle meteorolojik değişkenlere göre homojen iklim bölgelerinin belirlenmesi için, çok iklimli ve atmosferik çalışmalarda kullanılan etkili bir istatistiksel araçtır. Yazarlar, çalışmada, Türkiye genelinde 244 meteoroloji istasyonundan yararlanmıştır. Kümelemede, Türkiye'nin iklim bölgelerini temsil eden farklı değişkenlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılan meteorolojik değişkenler; mak. hava sıcaklığı (°C), mak. hava sıcaklığının ortalaması (°C), min. hava sıcaklığı (°C), min. hava sıcaklığının ortalaması (°C), ort. hava sıcaklığı (°C), mak. ort. hava sıcaklığı (°C), min. ort. hava sıcaklığı (°C), top. yağış miktarı (mm) ve bağıl nem (%) şeklindedir. Çalışmada bu değişkenlerin aralıklarının birbirinden farklı olduğu ve bu nedenle her değişkenin sağladığı bilgilerin de farklı olacağı ifade edilmiştir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, tüm değişkenler sıfır ortalama ve birim varyansa sahip olacak şekilde standartlaştırılmıştır. Standardizasyon prosedüründe aylık ortalamalar ve standart sapmalar kullanılmıştır. Standardizasyon sonrasında yukarıda bahsedilen dokuz değişkenin tamamına kümeleme yöntemi uygulanmıştır (İyigün et al., 2013).



Şekil 3.25. İklim bölgeleri (İyigün et al., 2013): (1) Altropikal Yarı-nemli Ege Sahili Kuru Yazı, (2) Yarı-nemli Orta-Batı Anadolu İklimi, (3) Altropikal Nemli Akdeniz Sahili Kuru Yazı, (4) Yarı-nemli Doğu Marmara Geçiş İklimi, (5) Altropikal Yarı-nemli/Yarı-kurak Karasal Akdeniz Kuru Yazı, (6) Yarı-nemli Soğuk Karasal Doğu Anadolu, (7) Kuru-yarınemli/Yarı-kurak Karasal Orta Anadolu, (8) Orta-enlem Nemli Ilıman Karadeniz Sahil İklimi, (9) Yarı-nemli Batı Marmara Geçiş İklimi, (10) Yarı-nemli Karasal İç Anadolu’dan Doğu Anadolu’ya Geçiş İklimi, (11) Yarı-nemli Soğuk Karasal Kuzeydoğu Anadolu Yağışlı Yazı, (12) Yarı-nemli Karasal Akdeniz’den Doğu Anadolu’ya Geçiş.

Tez çalışmasında Şekil 3.25'te İyigün et al., (2013)'den alınan harita, ArcGIS 10.6 ortamında öncelikle jeoreferanslanmış ve daha sonra da sayısallaştırılmıştır. Son olarak ise vektör veriye dönüştürülmüştür. Burada gösterilen iklim bölgelerinin hangi coğrafi bölge sınırında kaldığına yönelik bilgiler ise Çizelge 3.14'te verilmektedir.

Çizelge 3.14. Ward modeline göre İyigün et al., (2013) tarafından oluşturulan iklim bölgelerinin içinde bulunan coğrafi bölgeler.

İklim Bölgesi	Tanımı	Coğrafi Bölge
1	Alttropikal Yarı-nemli Ege Sahili Kuru Yazı	Ege
2	Yarı-nemli Orta-Batı Anadolu İklimi	Ege-Marmara (Güney) - Karadeniz (Güneybatı) – Akdeniz (Kuzey)
3	Alttropikal Nemli Akdeniz Sahili Kuru Yazı	Akdeniz
4	Yarı-nemli Doğu Marmara Geçiş İklimi	Marmara (İstanbul'un Anadolu Yakasının Kuzeyi hariç)
5	Alttropikal Yarı-nemli/Yarı-kurak Karasal Akdeniz Kuru Yazı	Güneydoğu Anadolu
6	Yarı-nemli Soğuk Karasal Doğu Anadolu	Doğu Anadolu
7	Kuru-yarınemli/Yarı-kurak Karasal Orta Anadolu	İç Anadolu – Orta Karadeniz (Güney) – Akdeniz (Kuzey)
8	Orta-enlem Nemli Ilıman Karadeniz Sahil İklimi	Karadeniz – Marmara (İstanbul'un Anadolu Yakasının Kuzeyi)
9	Yarı-nemli Batı Marmara Geçiş İklimi	Marmara (Trakya ve Marmara Denizi'nin Güneybatısı)
10	Yarı-nemli Karasal İç Anadolu'dan Doğu Anadolu'ya Geçiş İklimi	Doğu Anadolu – Doğu Karadeniz (Güneyi)
11	Yarı-nemli Soğuk Karasal Kuzeydoğu Anadolu Yağışlı Yazı	Doğu Anadolu – Karadeniz (Güneydoğu)
12	Yarı-nemli Karasal Akdeniz'den Doğu Anadolu'ya Geçiş İklimi	Doğu Anadolu

3.5.3 Topografik veriler

NASA tarafından oluşturulan Yerküre Gözlem Sisteminin Veri ve Bilgi Sistemi (Earth Observing System Data and Information System - EOSDIS) (EarthData, 2018), NASA'nın Yerküre Bilimi Veri Sistemi Programı'nın çekirdeğini oluşturmaktadır (Şekil 3.26). Bu bilgi sisteminin birçok kullanıcı için bu kadar önemli olmasının sebebi ise yeryüzü gözlemi gerçekleştiren birçok enstrümanın geçmişe ve günümüze ait verilerini içermesi ve yeni verilerle sürekli güncellenebilir olmasıdır.



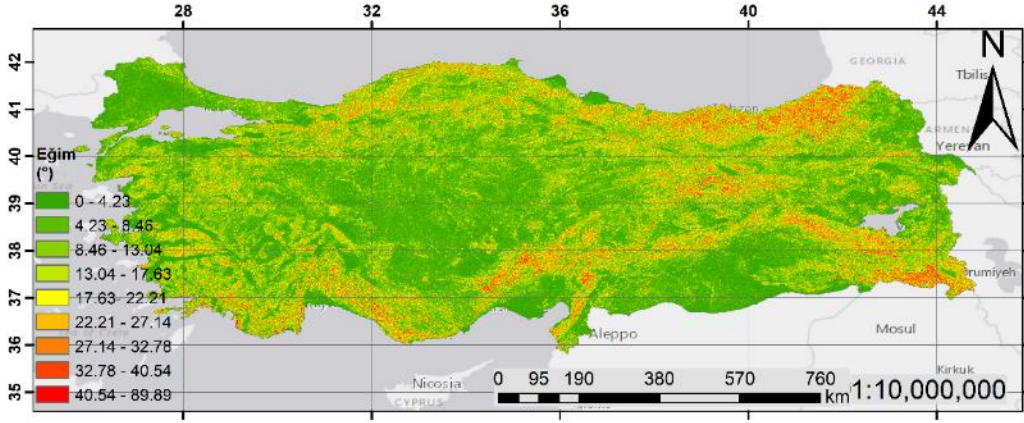
Şekil 3.26. EarthData veritabanında bulunan ASTER verileri (EarthData, 2018).

EarthData veritabanında, NASA ve Japon Bilim Takımı tarafından geliştirilen ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sayısal yükseklik modeli verileri, LIDAR görüntüleri, SAR görüntüleri, AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) verileri gibi önemli veri setleri bulunmaktadır. Bu veritabanı için dikkate alınması gereken bir husus ise yer alan enstrümanlara ait veri setlerinin her bölge için bulunamama olasılığının olmasıdır. Çalışma kapsamında kullanılacak ASTER veri seti ise özellikle Türkiye'nin içinde bulunduğu bölge için elde edilebilir. Alınan ASTER görüntüleri 30 m yersel çözünürlüğe sahip olup tüm Türkiye için 90 pafta olacak şekilde elde edilmiş ve bu paftalar ArcGIS yazılımı aracılığı ile birleştirilmiştir (Şekil 3.27).

Çizelge 3.15. CORINE verisinde bulunan arazi örtüsü ana ve alt sınıfları (CORINE, 2018).

Arazi Örtüsü Ana Sınıfı	Arazi Örtüsü Alt Sınıfları
Yapay yüzeyler	Sürekli kentsel yapı Süreksiz kentsel yapı Endüstriyel, ticari alanlar Kara ve demiryolu ağları ve ilgili karalar Liman alanları Havaalanları Maden, çöplük ve inşaat sahaları Maden çıkarma sahaları Atık sahaları İnşaat sahaları Yapay, tarım dışı bitki örtüsü alanları Yeşil kentsel alanlar Spor ve boş zaman tesisleri
Tarım alanları	Sulanmamış ekilebilir arazi Kalıcı olarak sulanan arazi Pirinç tarlaları Bağlar Meyve ağaçları ve meyve tarlaları Zeytinlikler Meralar Heterojen tarım alanları Kalıcı ürün bitkilerine ilişkili yıllık ürün alanları Karmaşık yetiştirme modeline sahip alanlar Tarım faaliyetleri için işgal edilen arazi Tarımsal ormancılık alanları
Ormanlar	Geniş yapraklı orman İğne yapraklı orman Karışık orman Ara ormanlık-çalılık alanlar
Doğal çayırlar ve maki bitki örtüsü	Çayırlar ve makilik alanlar
Bitki örtüsü az olan veya hiç olmayan açık alanlar	Plajlar, kum tepeleri, kumlar Çıplak kayalar Seyrek bitki örtüsü alanları Yanmış alanlar Buzullar ve sürekli kar
Sulak Alanlar	İç sulak alanlar İç bataklıklar Turba bataklıkları Deniz sulak alanları Tuz bataklıkları Tuzlu sular Intertidal daireler

oranının yüzde olarak ifadesidir. Eğim verisinin oluşturulmasında bakı verisinde olduğu gibi planar metot kullanılmıştır. Yazılım içinde bulunan Slope aracı ile yüzde veya derece cinsinden eğim verisi üretilebilir. Yapılan çalışmada eğim verisinin derece cinsinden elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.29. Eğim verisi.

3.7 Saha Uygunluk Analizi

Tez çalışmasında, enerji ormancılığı için kullanılması uygun olmayan alanlar, planlamanın dışına çıkarılması amacı ile elenmiştir. Elenen arazi kullanım sınıfları;

- Yerleşim alanları,
- Endüstriyel alanlar,
- Yollar, demiryolları,
- Limanlar,
- Havalimanları,
- Maden sahaları,
- İnşaat alanları,

- Katı atık depolama sahaları,
- Kent içi yeşil alanlar,
- Spor alanları,
- Tarım alanları (sulu tarım ve susuz tarım yapılan alanlar),
- Meyve bahçeleri
- Zeytinlikler,
- Orman alanları (geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık ormanlar)
- Plajlar ve kumullar ve
- Sulak alanlar ve su yapılarıdır.

Bu çıkarım esnasında, Boolean (ikili) sistem kullanılmış ve elenecek tüm arazi kullanım sınıfları uygun değil (0) ile ölçeklendirilmiştir. Bu şekilde kısıtlanan arazi kullanımları tüm ülke sınırlarını kapsayan çalışma alanından çıkarılarak potansiyel alanlar tespit edilmiştir. Saha uygunluk analizi sonucunda elenen alanlardan geriye 31,370,942 ha'lık bir alan kalmıştır. Bu alan genel çalışma alanı olan ülkemizin yaklaşık olarak %40'ını kapsamaktadır. Toplam alanın %40'ını oluşturan bu alan, tüm ağaçlar için potansiyel alanları temsil etmektedir. Ancak ağaçların, bu alan içinde hangi uygunlukta yetiştirilebileceği EOYTM ile incelenecektir.

3.8 Model Ağaçlar için CBS-tabanlı Enerji Ormancılığı Yer Tespiti Modelinin (EOYTM) Oluşturulması (CBS-ÇKKA)

3.8.1 Kriter standardizasyonlarının gerçekleştirilmesi

CBS-ÇKKA değerlendirmelerinde faktörler, mekansal analizin temelini oluşturur; ancak, bunlar bir arada değerlendirmek için her zaman aynı skalada karşılaştırılabilir olamazlar. Bu nedenle, faktörlerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için standardize edilmesi gerekir (Kao, 2010). Boolean

yaklaşım (ikili mantık, klasik mantık, Aristo mantığı) ve bulanık mantık (fuzzy) yaklaşımı gibi çeşitli yöntemler, faktörleri standardize etmek için kullanılabilir. Klasik mantıkta kriterlerin, bir uygunluk aralığının elemanı olup olmadığının cevabı ya evet ya da hayır olmak üzere kesindir (Maxson, 2007; Aydın ve Eker, 2011; Uludağ ve Deveci, 2013; Derviş, 2015). Burada uygun olan değerler tamamen 1, uygun olmayan değerler ise tamamen 0'dır. Fuzzy yönteminde ise uygunluk, bir küme olarak ele alınır ve uygunluk bu küme arasında $[0,1]$ arasında değişiklik gösterir. Bu modül yapay zekâ temeline sahip bulanık mantık analiz modülüdür ve Lotfy A. Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir (Derviş, 2015).

Kriterlerin standardize (normalize) edilmesi işlemi, yersel bazda elde edilen veya türetilen verilerin yer tespiti modeline entegre edilmesi için oldukça önemlidir. Standardizasyon işlemi sonucunda kriterler aynı skalaya sahip olurlar. Aynı skalaya sahip olma aşamasında standardizasyonun neye göre yapılacağı ise ayrı bir sorudur. Bir verinin normalize edilmesi sürecinde o verinin çalışmanın niteliğine göre uygunluk aralığı esas alınır. Temelde üç farklı standardizasyon işlemi bulunmaktadır. Bunlar; (1) benzer çalışmalara bakarak literatürdeki bilgilerin kullanılması, (2) uzman görüşüne başvurmak ve (3) ideal veriye dayalı standardizasyon şeklindedir. Standardizasyon işlemi için kullanılan bu üç yaklaşım, ağırlıklandırma için de kullanılır.

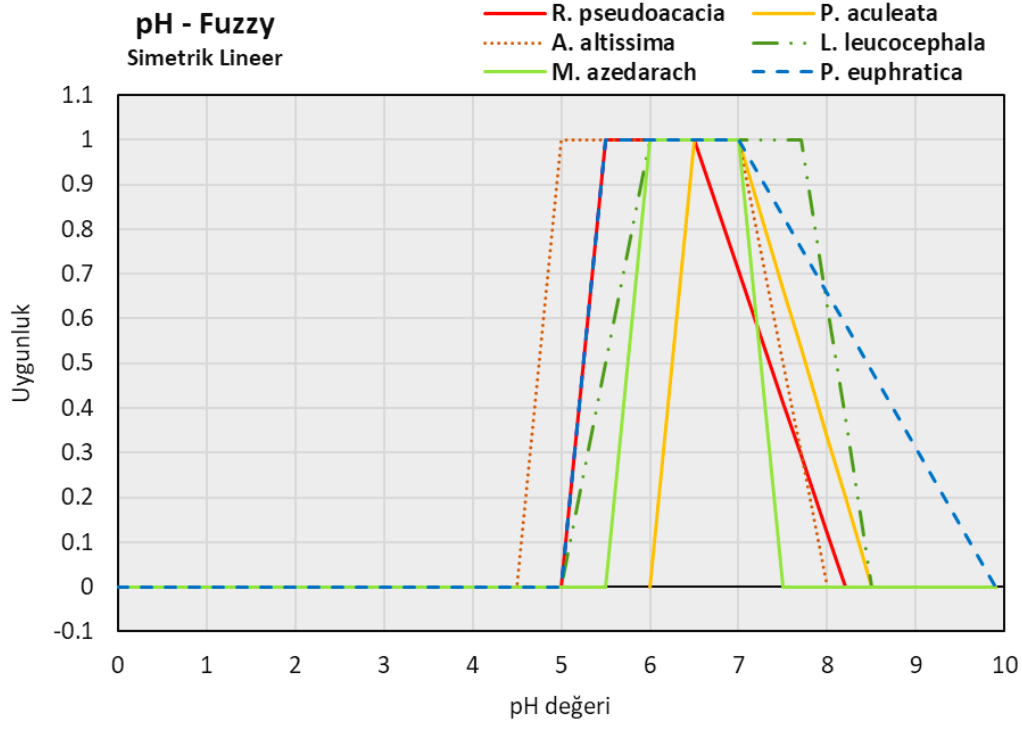
Tez çalışmasında, normalizasyon/standardizasyon yaklaşımı, toprak verileri ve topoğrafya verileri için fuzzy standardizasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve yağış parametrelerinin yer aldığı iklim verileri içinse farklı bir normalizasyon yaklaşımı izlenmiştir. Burada, çalışma kapsamında ele alınan bitkilerin ekolojik isteklerine göre sıcaklık ve yağış uygunluğunu ve dolayısı ile iklimsel uygunluğu konumsal olarak tespit eden bir model oluşturulmuştur (Bitki-İklim Uygunluk Modeli – BİUM). Bu şekilde, sıcaklık ve yağış uygunlukları, bitkilerin ekolojik özelliklerine göre oluşturulmuş ve iklimsel uygunluk, normalizasyon sonucu olarak elde edilmiştir.

3.8.1.1. Fuzzy (bulanık mantık) standardizasyonu

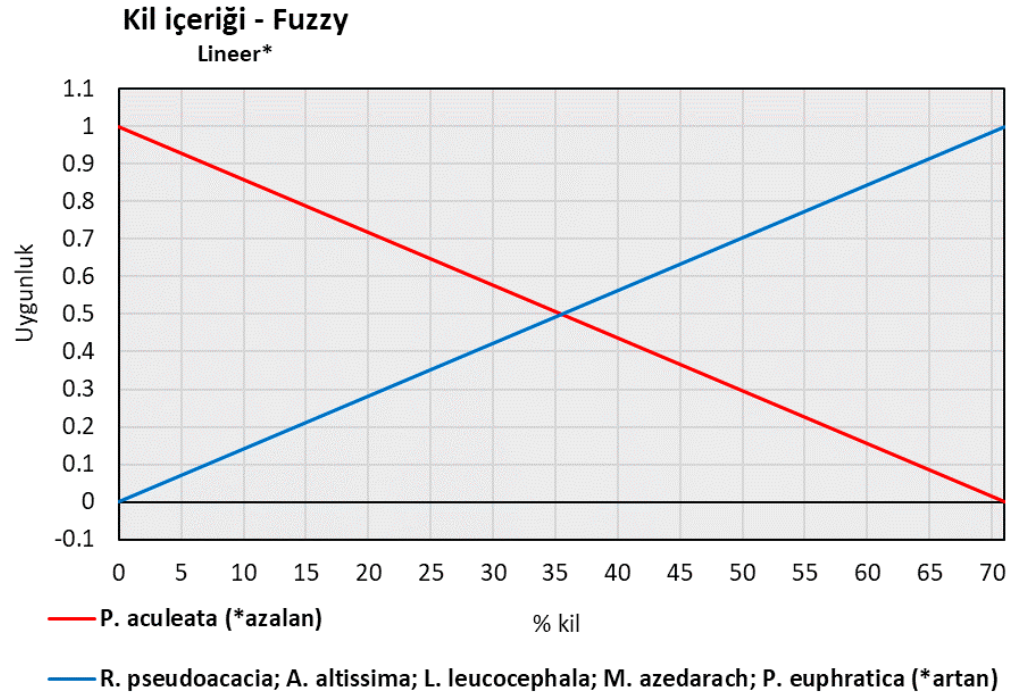
Çoğu karar verme yönteminde uygunluk derecesini değerlendirmek için birden fazla faktör düşünüldüğünden, uygunluk genellikle Boolean değildir; farklı derecelerde küme üyeliği durumunda, bulanık mantık yaklaşımı ortaya çıkar (Zadeh, 1965; Jiang and Eastman, 2000). Karar verici(ler) tarafından seçilen her

faktör, ele alındıkları kriter ölçütlerine göre fuzzy küme üyeliğinin (veya uygunluğunun) değerlendirilmesine bağlı olarak doğrudan veya dolaylı bir gösterge oluşturur. Fuzzy standardizasyon yaklaşımında, bulanık kümeler, öğeleri veya değerleri gerçek birim aralığında $[0,1]$ değerlenen üyelik derecelerine sahip faktörleri ifade eder (Aydın ve Sarptaş, 2014; 2016). Burada genel ölçüt, normalizasyonun 0-1 arasındaki fuzzy küme üyeliği durumudur (Jiang and Eastman, 2000). CBS tekniklerinin de kullanılığı arazi tahsisi ve uygunluk değerlendirme çalışmaları, fuzzy küme üyeliklerini içeren karar verme mekanizmaları olarak değerlendirilirler (Burrough et al., 1992; Hall et al., 1992; Jiang and Eastman, 2000). Fuzzy mantık, bir faktöre ait değerleri bir küme üyeliğine sahip olacak şekilde nihai karar kümesindeki üyelik derecesine dönüştüren standardizasyon süreci (Jiang and Eastman, 2000) için çok güçlü bir mantık sağlar ve bu nedenle karar verme yöntemleri için idealdir. Fuzzy mantık, faktörün, her bir değerinin 0 ile 1 arasında farklı uygunluklarda atanmasına izin verdiği için hem Boolean değerlendirmelerdeki hem de sürekli ölçeklendirmeye sahip ağırlıklı lineer karşılaştırma yöntemlerindeki boşlukları doldurmaktadır (Malczewski and Rinner, 2015; Güngöroğlu, 2017). Hardy (1994) tarafından gösterilen bir örnekte yaşlılığın muğlak bir terim olduğu ve yaşlılığın, yaşlılar dizisiyle ilgili olduğu ifade edilmektedir. Boolean değerlendirmesine göre, 60'ın yaşlı ve genci ayıran nokta olduğu ifade edilebilir. Yani, bu yaşın üzerindeki insanlar yaşlı ve 60 yaşın altındakiler de gençtir. Ancak, fuzzy yaklaşımda, 55 yaşındaki birine yaşlılar grubunda 0,6 değeri atanabilir, bu durum bu yaştaki bazı insanların yaşlı oldukları anlamına gelir. Öte yandan, 90 yaşındaki bir kişi çok yaşlı kabul edilebilir ve bu nedenle setteki üyelik derecesi için 1 değeri verilebilir.

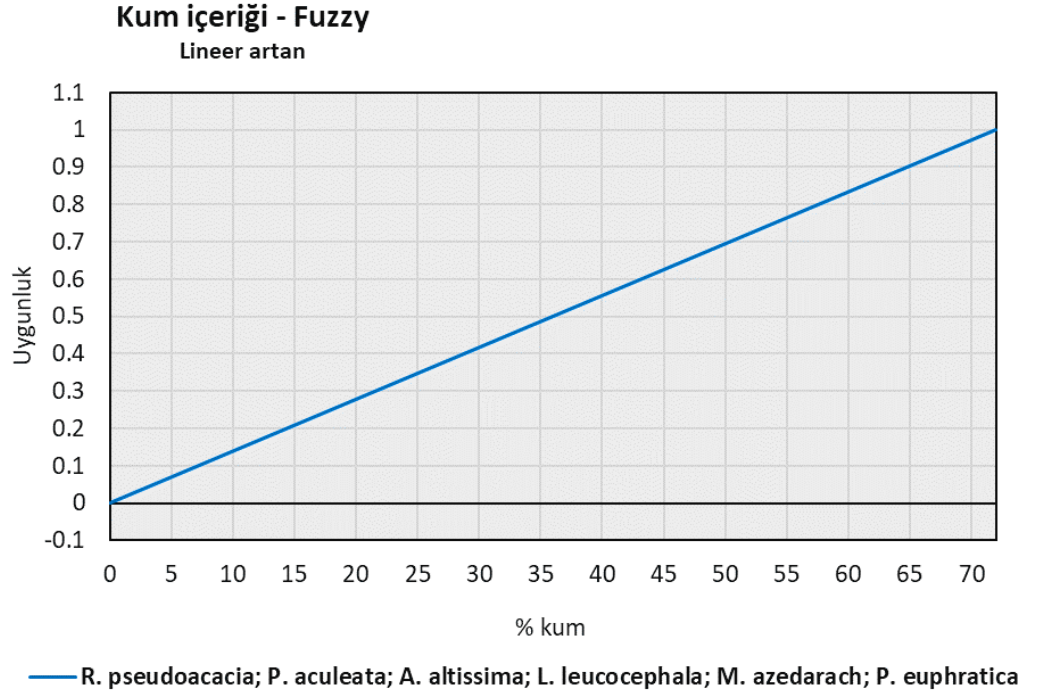
Tez çalışmasında verilerin standardizasyonu için “ideal veriye dayalı standardizasyon yaklaşımı” benimsenmiştir. Standardizasyon için ele alınacak ideal veriler her ağaç türü için kriterlerin belirlendiği Çizelge 3.11’de verilmiştir. Faktörlerin standardizasyonu, Terrset yazılımının fuzzy aracı tarafından, 0-1 aralığında; artan uygunluğa sahip (0’dan 1’e); azalan uygunluğa sahip (1’den 0’a); simetrik (0-1,1-0); uygun değil (0) ve uygun (1) şeklinde faktörlere atanarak yeniden ölçeklendirilmiştir. Örneğin, kil içeriğinin artması için *P. aculeata* için uygunluk 1’den 0’a azalırken; diğer ağaç türleri için 0’dan 1’e artmaktadır. pH için ise ölçeklendirme simetrik bir şekilde gerçekleşmiştir. Şekil 3.30 ile Şekil 3.36 arasında sırası ile *R. pseudoacacia*, *P. aculeata*, *A. altissima*, *L. leucocephala*, *M. azedarach* ve *P. euphratica* ağaçlarının fuzzy standardizasyonuna yönelik grafikler verilmektedir.



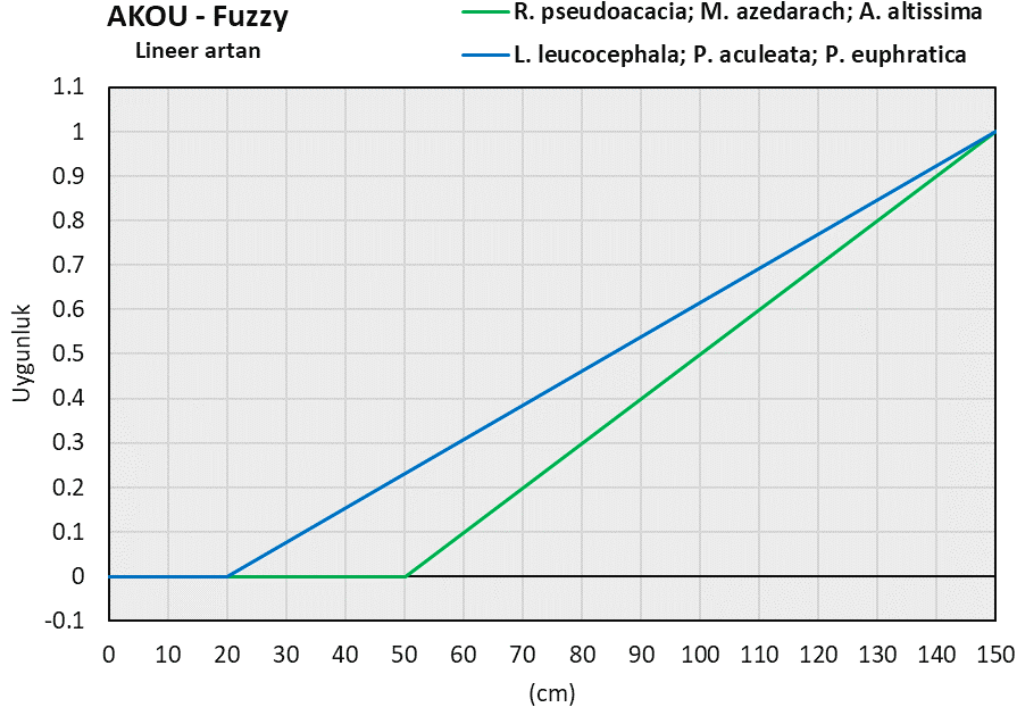
Şekil 3.30. pH faktörünün fuzzy grafiği.



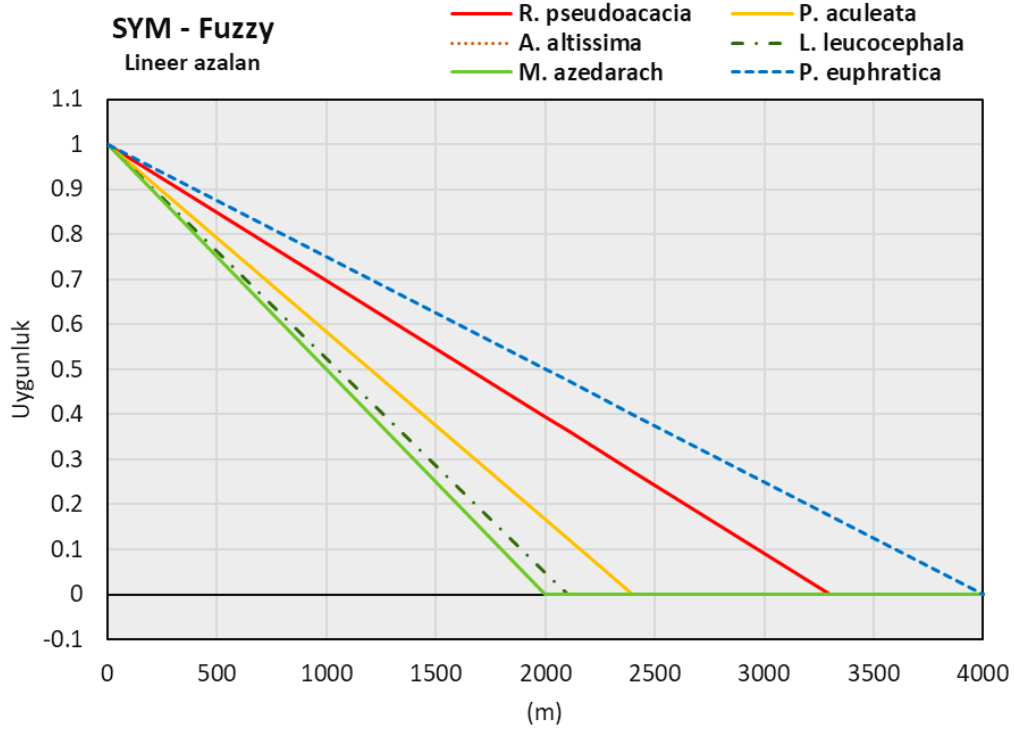
Şekil 3.31. Kil içeriği faktörünün fuzzy grafiği.



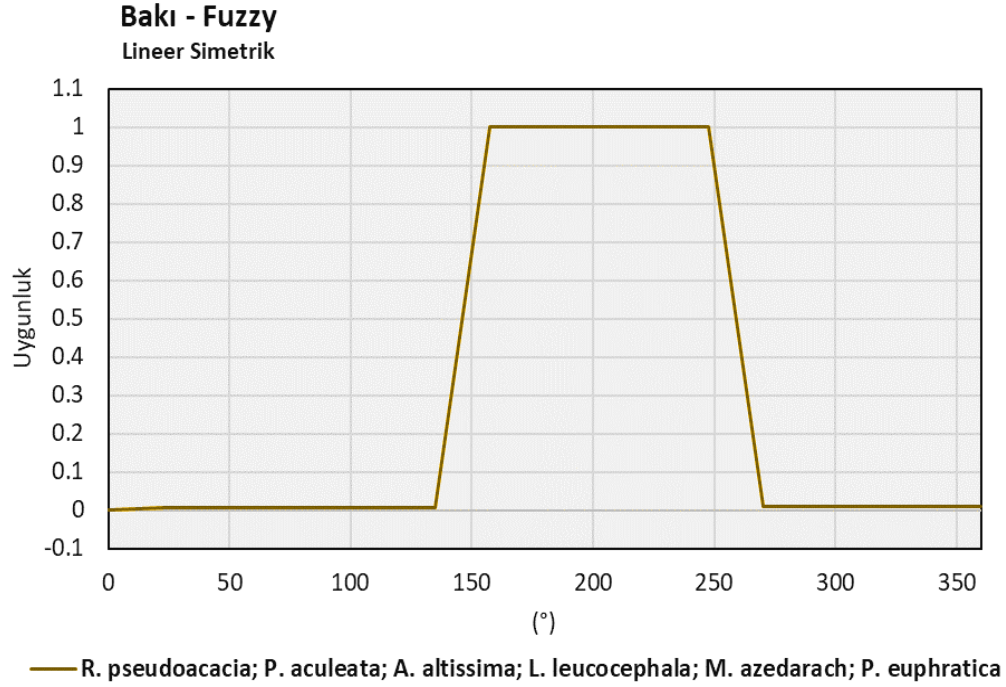
Şekil 3.32. Kum içeriği faktörünün fuzzy grafiği.



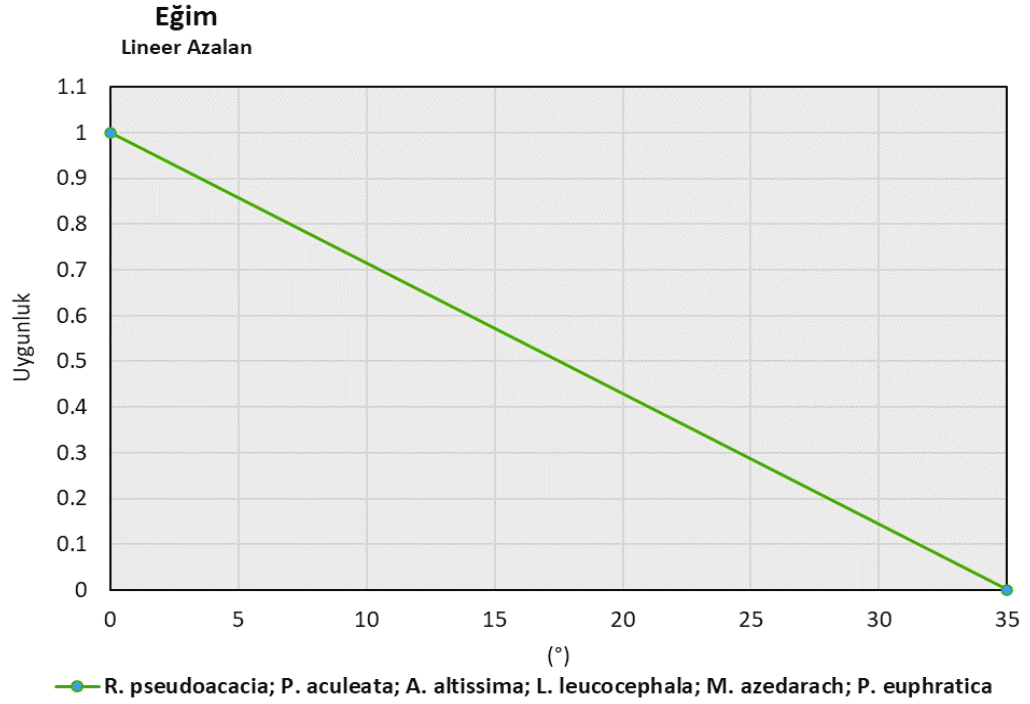
Şekil 3.33. Ana kayaya olan uzaklık faktörünün fuzzy grafiği.



Şekil 3.34. Sayısal yükseklik modeli faktörünün fuzzy grafiği.



Şekil 3.35. Bakı faktörünün fuzzy grafiği.



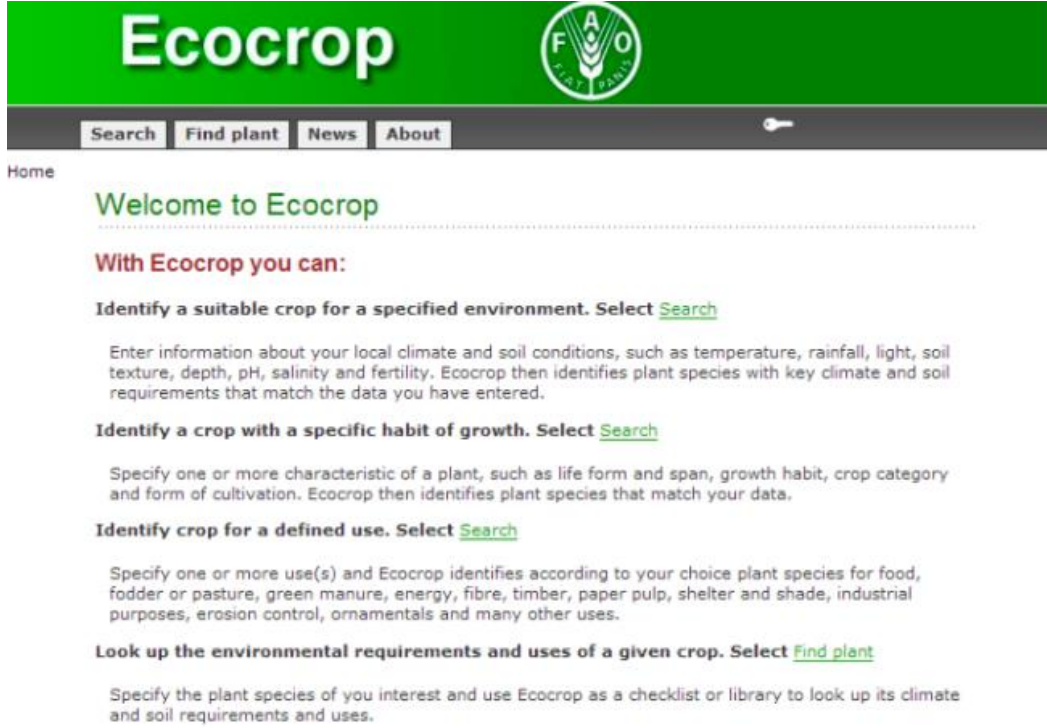
Şekil 3.36. Eğim faktörünün fuzzy grafiği.

3.8.1.2 Bitki iklimsel uygunluk modeli (BİUM)

ECOCROP veritabanı (Bölüm 3.5’te belirtildiği gibi) Gıda ve Tarım Örgütü’nün (Food and Agriculture Organization – FAO) Toprak ve Su Geliştirme Bölümü (Land and Water Development Division – LWDD) tarafından 1992 yılında geliştirilmiştir. Bu veritabanının geliştirilmesindeki amaç, arazi kullanım planlaması konseptine katkıda bulunmak amacı ile bilinen çevresel özellikleri ve kullanım alanları ışığında bitki türlerinin, ekolojik özelliklerinin ve yetiştirilme parametrelerinin ortaya çıkarılmasıdır. Ekim 2000’de ECOCROP veritabanı ecocrop.fao.org linki altında çalışmaya başlamıştır (Şekil 3.37). Bu tarihte bilgileri paylaşılmış bitki türü sayısı 2000’e yakındır (Eitzinger et al., 2014).

2001 yılında Hijmans, DIVA GIS yazılımında, FAO ECOCROP veritabanını kullanarak bitki uygunluk endeksini (Crop Suitability Index) hesaplamak için temel bir mekanik model (ECOCROP modeli olarak da bilinir) geliştirmiştir (Ramirez-Villegas et al., 2013; Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018). 2011 yılında ise Uluslararası Tropikal Tarım Merkezi’nden (International Center for Tropical Agriculture – CIAT) Ramirez-Villegas et al., (2013), kalibrasyon ve değerlendirme prosedürlerinin de sağlandığı

yeni bir uygunluk modeli (Bitki İklim Uygunluk Modeli – BİUM) geliştirmiştir (Laderach and Eitzinger, 2013; Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Eastman, 2015a; Eastman, 2015b; Eitzinger et al., 2015). Bu modelin çalışma prensibi, alansal ya da mekânsal bazda hem sıcaklık hem de yağış uygunluğunun bitkinin yetiştirme uygunluğuna göre ayrı ayrı tespit edilmesi ve sonuç olarak bölgenin iklimsel uygunluğunun, belirlenen sıcaklık-yağış uygunluğuna göre hesaplanması şeklindedir (Aydın ve Sarptaş, 2018).

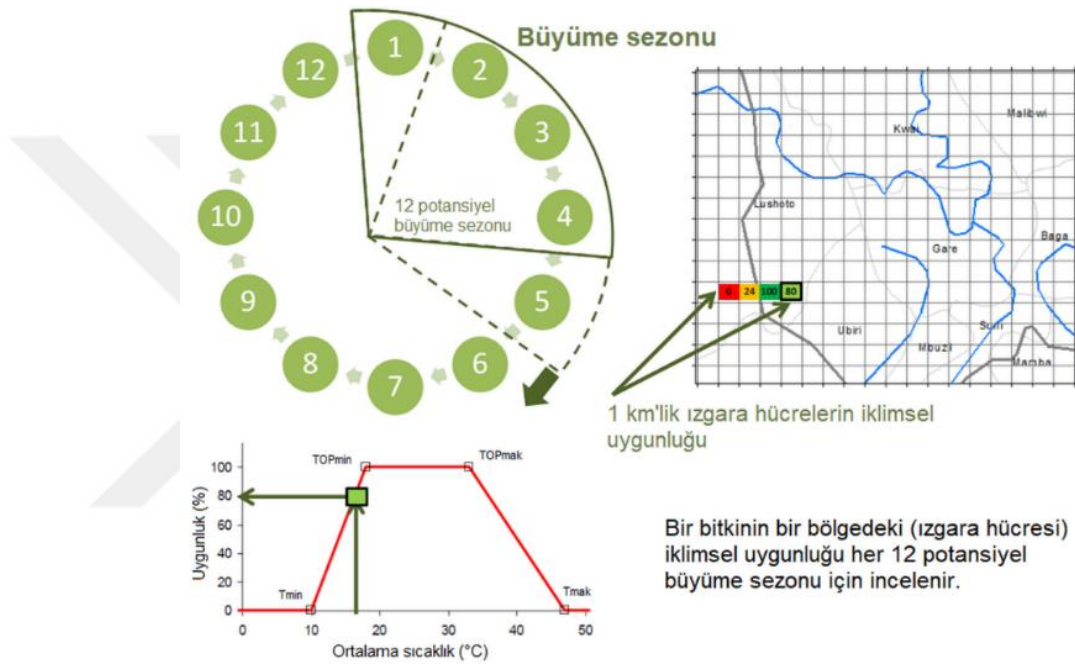


Şekil 3.37. ECOCROP veritabanının bulunduğu ecocrop.fao.org linkine ait ilk arayüz.

Modele göre bir bölgenin aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarı (bir büyüme sezonunda düşen toplam yağış miktarı) ağacın yetiştirebileceği uygunluktaki sıcaklık ve yağış aralığına göre belirlenen optimum aralıkta kalıyorsa, bölge bu bitkinin yetiştiriciliği için uygun kabul edilmektedir. Sıcaklık ve yağış değerleri, uç alanlarda kalıyorsa bitki zor da olsa yetiştirebilmektedir (Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018). Bu modelde bir yıl, her biri ayrı bir ay ile başlayan 12 potansiyel büyüme sezonuna (çevrim) ayrılmaktadır. Bitkinin iklimsel uygunluğu, bitkinin özelliklerine göre ve her aya ait sıcaklık ve yağış verileri ile incelenir. Modelde istenen ve ECOCROP veritabanı (www.ecocrop.fao.org) ile entegre edilebilen veriler, her bitkiye özel olarak, sıcaklık ve yağış için Tkill (öldürücü sıcaklık), Tmin (mutlak minimum sıcaklık), TOPmin (optimum minimum sıcaklık),

TOPmak (optimum maksimum sıcaklık), Tmak (mutlak maksimum sıcaklık), Ymin (mutlak minimum yağış), YOPmin (optimum minimum yağış), YOPmak (optimum maksimum yağış), Ymak (maksimum yağış) değerleridir (Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Eastman, 2015a; Aydın ve Sarptaş, 2018). Bir bitkinin iklimsel uygunluk değeri, sıcaklık uygunluğu ve yağış uygunluğu değerleri kullanılarak, aşağıdaki adımlar izlenerek belirlenebilir.

Çevrim uzunluğunun (vejetasyon devre uzunluğunun) bulunması: Yıl, ağacın büyüme sezonu uzunluğunda 12 çevrime ayrılır (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. BİUM'da incelenen çevrim uzunluğu ve potansiyel büyüme sezonlarının tespiti (Eitzinger et al., 2014).

Her çevrim, yılın bir ayı ile başlar. Büyüme sezonunun (çevrimin) uzunluğu, bitki büyüme döngüsünde belirtilen minimum gün sayısı (Gmin) ile maksimum gün sayısının (Gmak) ortalamasıdır (Laderach and Eitzinger, 2013; Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Eastman, 2015a; Eastman, 2015b; Eitzinger et al., 2015). BİUM'un, çevrim uzunluğunu dikkate almasının en önemli nedenlerinden biri çevrim uzunluğu ile bitki örtüsünün yayılışı arasında önemli ilişkilerin bulunmasıdır. Veritabanından alınan verilerde de olduğu gibi çevrim uzunluğunun bulunmasında ele alınan Gmin ve Gmak, ağaçlar için eşik sıcaklık değeri olarak +8°C'yi esas alır. Bu eşik sıcaklık ağaçların tomurcuklarının patlamaya başladığı eşik sıcaklık şiddetidir (Atalay, 2008).

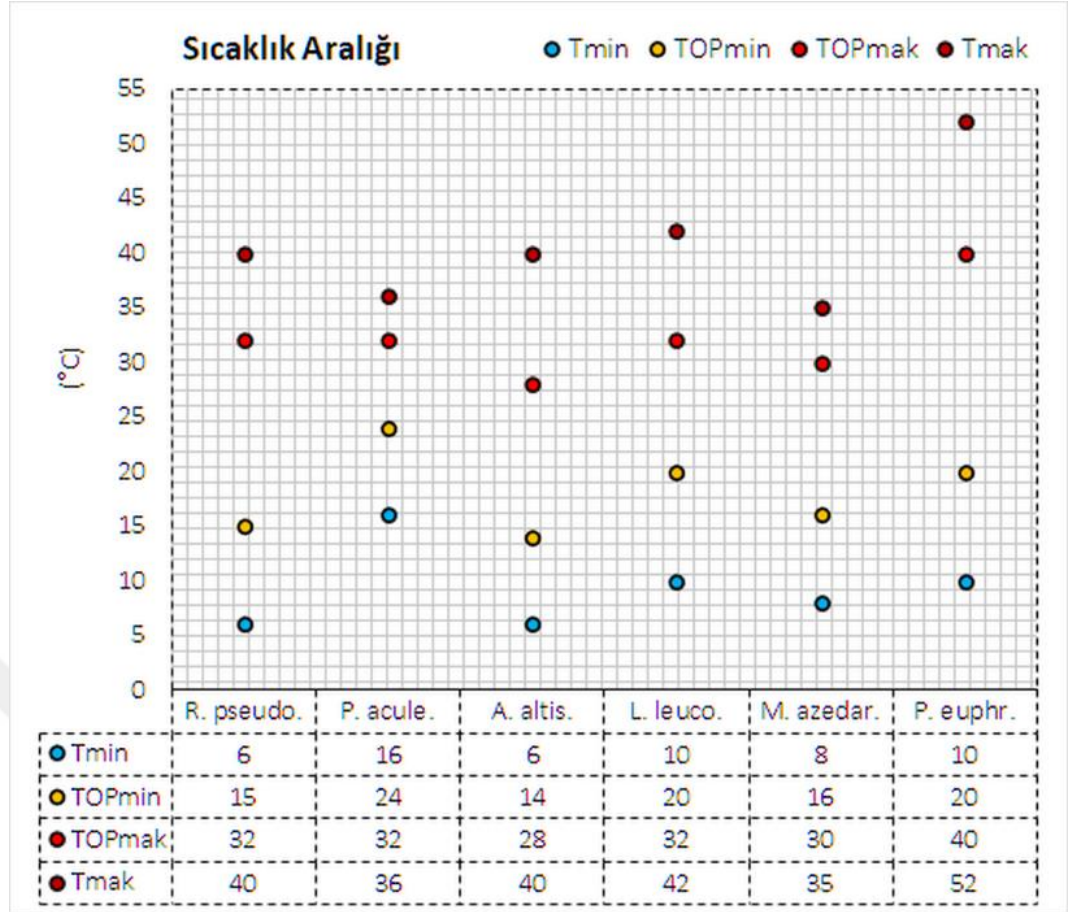
Tez çalışması kapsamında seçilen ağaçların minimum gün sayısı ve maksimum gün sayıları, *R. pseudoacacia* için $G_{min}(120)$ - $G_{mak}(240)$; *P. aculeata* için $G_{min}(120)$ - $G_{mak}(210)$; *A. altissima* için $G_{min}(120)$ - $G_{mak}(210)$; *L. leucocephala* için $G_{min}(180)$ - $G_{mak}(365)$; *M. azedarach* için $G_{min}(210)$ - $G_{mak}(270)$ ve *P. euphratica* için $G_{min}(120)$ - $G_{mak}(240)$ şeklindedir. Öldürücü sıcaklık değerleri ise ECOCROP veritabanından *R. pseudoacacia* $T_{kill} = -35^{\circ}\text{C}$; *P. aculeata* $T_{kill} = -4^{\circ}\text{C}$; *A. altissima* $T_{kill} = -34^{\circ}\text{C}$; *L. leucocephala* $T_{kill} = 0^{\circ}\text{C}$; *M. azedarach* $T_{kill} = -18^{\circ}\text{C}$; *P. euphratica* $T_{kill} = -35^{\circ}\text{C}$ olarak tespit edilmiştir.

Sıcaklık uygunluk değerinin bulunması: Bunun için Çizelge 3.16'daki koşullar dikkate alınır.

Çizelge 3.16. Sıcaklık koşullarına göre uygunluk değerleri (Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018).

Sıcaklık Uygunluğu (ay)	Koşullar
0	$T_{min} < T_{kill}$
0	$T_{ort} < T_{min}$
$a_{t1} + m_{t1} * T_{ort}$	$T_{min} < T_{ort} < TOP_{min}$
100	$TOP_{min} < T_{ort} < TOP_{mak}$
$a_{t2} + m_{t2} * T_{ort}$	$TOP_{mak} < T_{ort} < T_{mak}$
0	$T_{ort} > T_{mak}$

Çizelge 3.16'da bahsedilen T_{ort} , bugüne kadar olan sıcaklık verilerinin ortalaması ve T_{min} bugüne kadar olan minimum sıcaklık değerini temsil etmektedir. Yine aynı çizelgede verilen T_{kill} değeri, bitkinin biyolojik öldürücü sıcaklığına geçiş yapabilecek eşik sıcaklığıdır (Laderach and Eitzinger, 2013; Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Eitzinger et al., 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018). Çizelge 3.16'da ayrıca bahsedilen değerlerden a_{t1} ve m_{t1} , sırasıyla, $[T_{min}, 0]$ ve $[TOP_{min}, 100]$ arasındaki regresyon eğrisinin kesişim ve eğimini; a_{t2} ve m_{t2} ise sırasıyla, $[TOP_{mak}, 100]$ ve $[T_{mak}, 0]$ arasındaki regresyon eğrisinin kesişim ve eğimini vermektedir (Laderach and Eitzinger, 2013; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018). Tez çalışması kapsamında ele alınan model ağaçlar için sıcaklık istekleri Şekil 3.39'da verilmektedir.



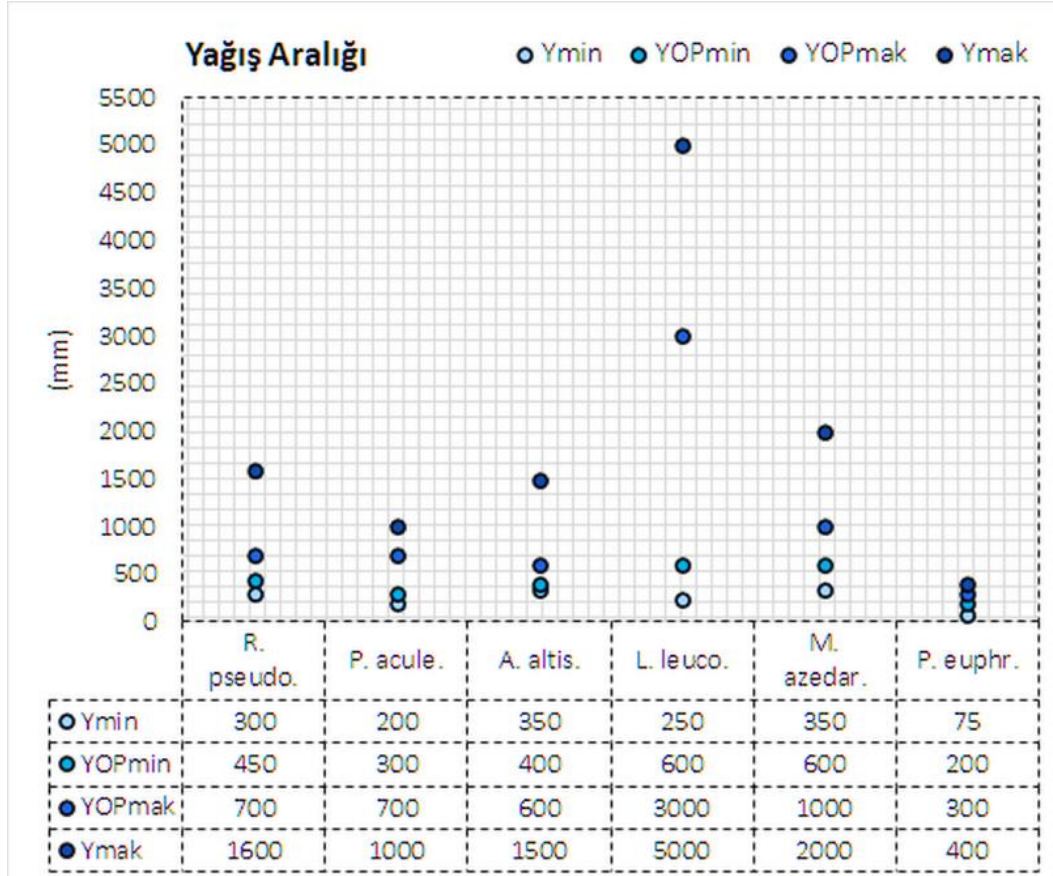
Şekil 3.39. Model enerji ormancılığı ağaçlarının sıcaklık istekleri (ECOCROP’tan alınan sayısal veriler ile oluşturulmuştur, 2018).

Yağış uygunluk değerinin bulunması: Bu değer bulunması içinse Çizelge 3.17’deki koşullar dikkate alınır.

Çizelge 3.17. Yağış koşullarına göre uygunluk değerleri (Eitzinger et al., 2014; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018).

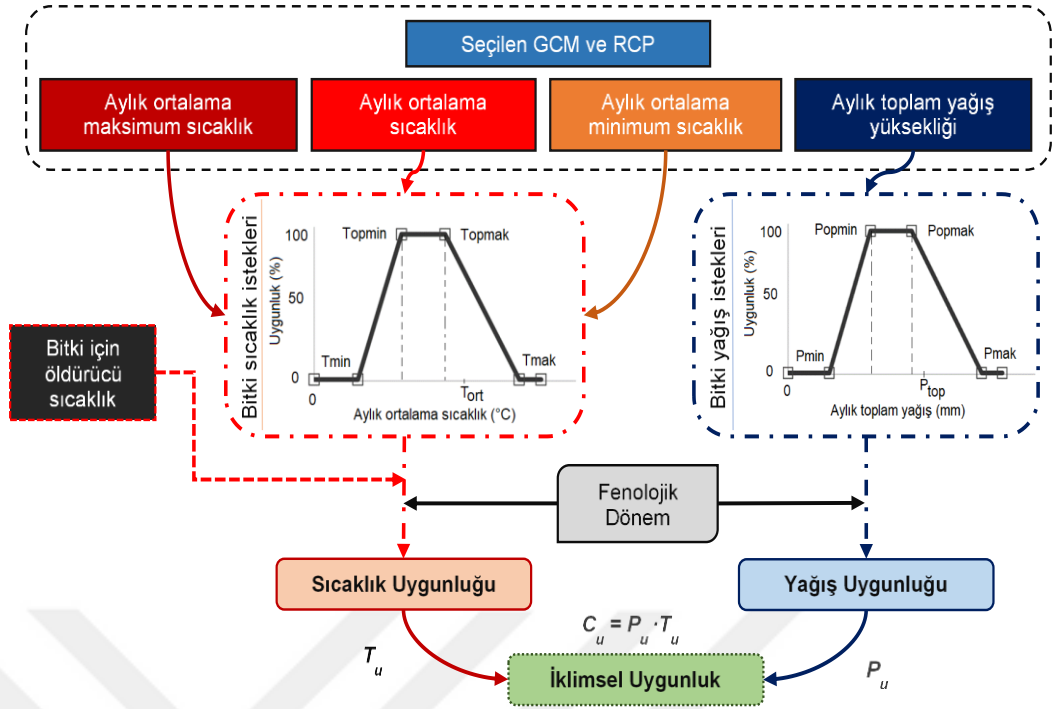
Uygunluk (ay)	Koşullar
0	$Yküm < Ymin$
$a_{r1} + m_{r1} * Yküm$	$Ymin < Yküm < YOPmin$
100	$YOPmin < Yküm < YOPmak$
$a_{r2} + m_{r2} * Yküm$	$YOPmak < Yküm < Ymak$
0	$Yküm > Ymak$

Çizelge 3.17'deki Yküm, her çevrimin sahip olduğu ayların yağış değerlerinin toplamıdır. Yine aynı çizelgedeki a_{r1} ve m_{r1} , sırasıyla, $[Y_{min}, 0]$ ve $[YOP_{min}, 100]$ arasındaki regresyon eğrisinin kesişim ve eğimini; a_{r2} ve m_{r2} ise sırasıyla, $[YOP_{mak}, 100]$ ve $[Y_{mak}, 0]$ arasındaki regresyon eğrisinin kesişim ve eğimini vermektedir (Laderach and Eitzinger, 2013; Aydın, 2015; Aydın ve Sarptaş, 2018). Şekil 3.40'ta model ağaçların yağış istekleri mutlak ve optimum aralıklara göre verilmektedir.



Şekil 3.40. Model enerji ormancılığı ağaçlarının yağış istekleri (ECOCROP'tan alınan sayısal veriler ile oluşturulmuştur, 2018).

İklimsel uygunluk değerinin hesaplanması: Belirtilen tüm bu basamakların gerçekleştirilmesi ile her ayın sıcaklık uygunluk değeri olan Tuygun (ay) ve çevrimin yağış uygunluk değeri olan Yuygun (çevrim) ile çevrimde yer alan en düşük Tuygun (ay) değeri ile belirlenen Tuygun (çevrim) bulunur. Daha sonra ise iklimsel uygunluk, Tuygun (çevrim) ile Yuygun (çevrim) değerlerinin çarpımıyla elde edilir. Şekil 3.41'de BİUM'un yukarıda detayları ile bahsedilen basamaklarına ait diyagram görseli sunulmaktadır.



Şekil 3.41. BIUM’un gelecek iklimsel uygunluğunun elde edilmesindeki çalışma adımlarını içeren diyagram gösterimi. Burada günümüz uygunluğu ele alınmak istenirse “Seçilen GCM ve RCP” yerine günümüze ait referans yıl ortalamasının iklimsel verileri kullanılmalıdır.

Terrset ortamına aktarılan ve veritabanı geliştirme kısmında bahsedilen günümüz (1970-2000 ortalaması) ve gelecek projeksiyonu [2050 – HADGEM2-ES, RCP 4.5] (2041-2060 ortalaması) ile oluşturulmuş sıcaklık ve yağış verileri, BIUM ortamında, iklimsel uygunluk katmanlarının ve dolayısı ile iklimsel uygunluk kriterinin üretilmesinde kullanılmıştır. Böylece, her model ağacın hem günümüze hem de gelecek projeksiyonuna göre iklimsel uygunlukları elde edilmiştir. Burada, iklimsel uygunluk katmanları (göstergeleri 0; uygun değil – 1; uygun arasında değişmektedir) yukarıda bahsedilen diğer katman verilerden farklı olarak doğrudan EOYTM’ye eklenmiştir.

3.8.2 Çok kriterli karar analizi (ÇKKA) ve CBS-ÇKKA’da faktör ağırlıklandırma

Hayatta karşılaşılan çeşitli sorunlar, çok kriterli karar verme sorunları olarak sınıflandırılabilir. Çok kriterli karar verme problemleri kesikli (bkz. İng. binary) veya sürekli (bkz. İng. continuous) olabilir (Vassilev et al., 2005). Farklı karar analizi yaklaşımlarında kullanılan tekniklere çok kriterli karar analizi yöntemleri

(ÇKKA; *Multi-criteria decision making - MCDM*) denir. Ana hatları ve mantığına yönelik teori ortaya konduğundan beri, çok kriterli karar analizleri büyük ölçüde mekansal karar verme problemlerini çözmek için kullanılmıştır (Temiz and Tecim, 2016).

ÇKKA problemleri iki farklı sınıfa ayrılabilir. Birinci sınıf problemlerde, sonlu sayıda alternatif açıkça tablo biçiminde verilir. Bu problemlere “ayrık” çok kriterli karar verme problemleri veya çok kriterli analiz problemleri denir (Vassilev et al., 2005). Çok kriterli problemlerde kullanılan ayrık metotlar, dikkate alınan kriterlerin yerine getirilme seviyesine göre sonlu sayıda alternatifin varlığı ile karakterize edilir (Ortiz-Urbina et al., 2019). İkinci sınıf problemlerde, işlevler biçimindeki sonlu sayıda açık kısıtlar kümesi, sonsuz sayıda uygulanabilir alternatifi tanımlar. Bu problemlere sürekli çok kriterli karar verme problemleri veya çok kriterli optimizasyon problemleri denir (Vassilev et al., 2005). Çok kriterli problemlerdeki sürekli yöntemler, uygulanabilir setin bir dizi kısıtlama tarafından dolaylı olarak olarak tanımlandığı durumları ifade eder (Mendoza and Martins, 2006; Kabak and Ervural, 2017). Ayrık ve sürekli çok kriterli karar verme analizi metodları ise Çizelge 3.18’de listelenmiştir.

Çizelge 3.18. Çok kriterli karar verme analizi metodları (Diaz-Balteiro et al., 2017; Ortiz-Urbina et al., 2019).

Ayrık Metodlar	
PROMETHEE	(<i>Preference Ranking Organisation Method For Enrichment Evaluation - Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi</i>)
NAIADE	(<i>Novel Approach To Imprecise Assessment And Decision Environments - Belirsiz Değerlendirme ve Karar Ortamlarına Yeni Yaklaşım</i>)
ELECTRE	(<i>Elimination And Choice-Expressing Reality - Eleme ve Seçim İfade Eden Gerçeklik</i>)
AHP	(<i>Analytic Hierarchy Process - Analitik Hiyerarşi Prosesi</i>)
ANP	(<i>Analytic Network Process - Analitik Ağ Prosesi</i>)
WAM	(<i>Weighted Arithmetic Mean - Ağırlıklı Aritmetik Ortalama</i>)
WGA	(<i>Weighted Geometric Aggregation - Ağırlıklı Geometrik Toplama</i>)

Çizelge 3.18(devamı). Çok kriterli karar verme analizi metodları (Diaz-Balteiro et al., 2017; Ortiz-Urbina et al., 2019).

Ayrık Metodlar	
MAUT	(<i>Multiattribute Utility Theory</i> - Çok Özellikli Fayda Teorisi)
MAVT	(<i>Multiattribute Value Theory</i> - Çok Özellikli Değer Teorisi)
HERO	(<i>Heuristic Optimisation Method</i> - Sezgisel Optimizasyon Yöntemi)
SMART	(<i>Simple Multiattribute Rating</i> - Basit Çok Özellikli Derecelendirme)
SMAA	(<i>Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis</i> - Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi)
Sürekli Metodlar	
GP	(<i>Goal Programming</i> - Hedef Programlama)
CP	(<i>Compromise Programming</i> - Uzlaşma Programlama)
MOP	(<i>Multiobjective Programming</i> - Çok Amaçlı Programlama)

3.8.2.1 Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

Saha uygunluğu analizleri gibi çalışmalarda, ele alınan karar verme süreçlerinde saha uygunluğunu etkileyen bir ya da birçok kriterin varlığının bulunması ve bu kriterlerin herbirinin uygunluk analizinde eşit öneme sahip olmaması karşılaşılan durumlardan biridir. Örneğin, enerji ormancılığı için uygun alanların tespit edilmesine yönelik bir çalışmada paydaşlardan biri olan bir yatırımcı, maliyet faktörüne çevre kirliliğinden daha fazla önem verebilir. Bu nedenle, ulaşılan kriterlerin göreceli önceliklerine göre birbiriyle karşılaştırılması ve ağırlıklandırılması gerekmektedir (Bhushan and Rai, 2004; Mu and Pereyra-Rojas, 2017; Aydın and Sarptaş, 2020). İkili karşılaştırmalar, sıralama yöntemleri ve derecelendirme yöntemleri, ÇKKA'da kullanılan karşılaştırma yöntemlerden bazılarıdır (Temiz and Tecim, 2016). Çizelge 3.18'de de belirtildiği gibi ÇKKA'da farklı birçok metod kullanılmaktadır. Ancak bu tez kapsamında da çalışıldığı üzere Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) (Saaty, 1987), karar vericilerin çoklu kriter ve alternatiflere ilişkin tercihlerini, yani ikili karşılaştırmaları gerçekleştirebilecek önemli yöntemlerden biridir (Benítez et al., 2012; Aydın ve Sarptaş, 2014, 2016; Mu and Pereyra-Rojas, 2017). Bu yaklaşım, tam anlamıyla mükemmel gözükme

de alan seçimi değerlendirmeleri, uygunluk analizi ve bölgesel planlama çalışmaları gibi birçok pratik durumda kullanıcı tercihlerini makul derecede iyi ifade etmektedir (Ayalew et al., 2005; Yalçın, 2008).

İkili karşılaştırma tekniği, matematikçi Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen bir karar verme tekniği olan AHP yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntem ikili karşılaştırmalar için bir özdeğer yaklaşımıdır ve kriterlerin hiyerarşisini oluşturmaya dayanır; burada her hiyerarşi düğümünde (karşılaştırma sonucunda) ağırlıklandırma yapılır (Saaty, 1980, 1986). AHP, (1) hiyerarşi oluşturma, (2) öncelik analizi ve (3) tutarlılık doğrulama şeklindeki üç ana işlemden oluşur. Karar vericilerin karmaşık çok kriterli karar problemlerini, bileşenlerine ayırmaları gerekir. Bu yaklaşım, karar vericinin sorunları bir hiyerarşi biçiminde yapılandırmasına izin verir (Temiz and Tecim, 2016). Hiyerarşi yapılanmasından sonra, karar vericiler eğer varsa aynı seviyedeki her bir unsuru ayrıca ikili olarak karşılaştırmak zorundadır (Ho, 2008; Liberatore and Nydick, 2008).

Konstantinos et al., (2019)'a göre karar verme süreçlerinde AHP kullanmanın birkaç avantajı vardır. Birincisi, bu yöntemin, kriterleri ağırlıklandırmak ve alternatifleri karşılaştırmak için ikili karşılaştırmayı kullanması ELECTRE ve PROMETHEE gibi diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Bu yöntem, ölçütlerin eklenmesine veya kaldırılmasına izin verecek şekilde ölçeklenebilir. İkinci olarak ise karar verme sürecinde üretilen senaryolar bu yöntemde, ağırlık katsayılarının yeniden hesaplanmasıyla kolayca oluşturulabilir. Ayrıca AHP'nin sonuçları, karar verme analizinden elde edilen sonuçları haritalar şeklinde görselleştirmek için CBS ile birleştirilebilir (Konstantinos et al., 2019; Aydın and Sarptaş, 2020). Bu yöntemde, kriterlere ilişkin algılar ve yargılar bir hiyerarşi içinde organize edilir ve karar sonuçlarını etkileyen kriterlerin göreceli büyüklüklerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. AHP yöntemi iki aşamaya ayrılmıştır: (1) ikili karşılaştırma matrislerinde bireysel tercihlerin / ağırlıkların bir araya getirilmesi ve (2) geometrik ortalama formülü ile toplu tercihlerin / ağırlıkların hesaplanması (Eşitlik 1).

$$S = (\prod_{i=1}^n X_i)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \dots X_n} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de X_1 , X_2 ve X_n değerleri, kriterlere ait bireysel tercih/ağırlıklardır. Bu denklemin sonucu, her kriterin toplu tercih/ağırlıklarını verir. AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrisleri, kesişen hücreye 1 ile 1/9 arasında bir göreceli değer

atanarak diğer tüm kriterlere göre bir kriter derecelendirmesi ile oluşturulur. İkili karşılaştırma için temel ölçek Goepel'e (2017) göre eşit (1), orta (3), güçlü (5), çok güçlü (7) ve aşırı (9) önem olarak tanımlanmıştır. Dikey eksendeki kriter, yatay eksendeki kriterden daha önemli olduğunda değerler 1 ile 1/9 arasında değişmektedir (Yalçın, 2008):

1: İki kriter de eşit önemdedir.	3: Bir kriter diğerine göre biraz daha fazla önemlidir.
5: Bir kriter diğerine göre oldukça fazla önemlidir.	7: Bir kriter diğerine göre çok fazla önemlidir.
9: Bir kriter diğerine göre çok çok (ekstrem) önemlidir.	

Vaidya and Kumar (2006)'a göre AHP yönteminde öncelikle (1) ele alınan sorun belirtilir. (2) Sorunun amaçları genişletilerek tüm kriterler, hedefler ve sonuçları dikkate alınır. (3) Sorunun kriterleri belirlenir. (4) Probleme ait kriterler farklı düzeylerde bir hiyerarşi içinde yapılandırılır. (5) Karşılık gelen seviyede her bir kriter, ikili karşılaştırmalar (AHP matrisi) ile karşılaştırılır ve sayısal ölçekte kalibrasyon yapılır. (6) Her bir AHP sonucu için tutarlılık oranı (*Consistency Ratio* - CR) hesaplaması yapılır. (7) Birden çok ikili karşılaştırma matrisinin hesaplanması sonucunda sonuç ağırlıklar için ağırlıklı ortalama hesaplaması yapılır (Eşitlik 1'deki gibi). Tutarlılık oranı (CR), ikili karşılaştırmalar sonucu çıkan maksimum özdeğerlerin her kriter ile farkından doğan tutarlılık indeksinin (*Consistency Index* - CI) rastgelelik indeksine (*Random Index* - RI) oranlanması ile bulunur. RI, ele alınan kriter sayısına bağlı olarak değişir. $CR < 0.10$ ise, oran ikili karşılaştırmada makul bir tutarlılık seviyesini gösterir; ancak, $CR \geq 0.10$ ise, oranın değerleri tutarsız yargıları gösterir (Saaty, 1980).

AHP, problemleri hiyerarşik bir yapıda ele alan ve ikili karşılaştırma mantığına dayanan çok kriterli analiz tekniğidir. AHP gibi çok kriterli analiz teknikleri ile çok sayıda ve/veya birbirinden bağımsız faktörün etkisi dikkate

alınarak, karar vericinin en uygun kararı vermesi sağlanır. AHP'nin karar vericiler tarafından tercih edilmesinin nedeni çok kriterli kararların alınmasında taraflı (sübjektif) kriterleri de dikkate alabilmesidir. Çok kriterli karar verme yaklaşımlarından olan AHP'de nitel faktörler başlıca öneme sahiptir. Bu teknik, alternatiflerin ayrıntılı değerlendirilmesinde nitel ve nicel faktörleri birleştirebilen bir tekniktir. AHP çeşitli seviyelerde birbirinden bağımsız olan faktörlerin, içinde bulundukları hiyerarşik yapıda değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Ömürbek vd., 2013). AHP tekniğinin en önemli yanı nümerik değerlerin anlamlı bilgiyi ve yorumlamayı oluşturmasıdır. Nümerik değerlerle oluşturulan matrislerin değerlendirmesi ile "kriter önemi" olarak adlandırılan anlamlı bilgi oluşturulmuş olur.

Tez çalışması kapsamında Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nden fiziki coğrafya ve Biyomühendislik Bölümü'nden ziraat kökenli akademisyenlerin ve Orman Genel Müdürlüğü Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü'nden orman mühendisliği kökenli başmühendis araştırmacı olan kişilerin görüşlerine başvurulmuş ve bu görüşler doğrultusunda faktörlerin karşılaştırıldığı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Tez çalışması kapsamında konu ile ilgili alanında uzman olan kişiler karar verme prosedüründe yer alan faktörleri uzmanlık alanlarına göre önem derecelerine göre karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken uzmanlara şu kuralları uygulamaları gerektiği ifade edilmiştir;

- Eğer satırda yer alan faktör, sütunda yer alan faktörden orta derecede önemli- önemli-çok önemli-çok çok önemli ise matrise yazılacak değer 3-5-7-9;
- Eğer sütunda yer alan faktör, satırda yer alan faktörden orta derecede önemli-önemli-çok önemli-çok çok önemli ise matrise yazılacak değer 1/3-5-7-9 şeklinde olmalıdır. Karşılaştırma matrisleri Çizelge 3.19 ile Çizelge 3.21 arasında verilmektedir.

AHP matrislerinin ağırlıklarının geometrik ortalaması ise Çizelge 3.22'de verilmektedir. Çizelge 3.22'deki değerler yetiştiriciliğe uygun alanların tespitinde oldukça önemli olacaktır.

Çizelge 3.19. İkili karşılaştırma matrisi (1); CR=0.10.

Uzm.1 ¹	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Ağırlık
(1)	1								0.0416
(2)	1/3	1							0.0159
(3)	5	5	1						0.0702
(4)	7	7	7	1					0.2253
(5)	7	7	7	1/5	1				0.1485
(6)	1/3	3	1/5	1/7	1/7	1			0.0241
(7)	1/5	5	1/5	1/7	1/7	1	1		0.0252
(8)	7	9	9	7	7	7	9	1	0.4492

Çizelge 3.20. İkili karşılaştırma matrisi (2); CR=0.06.

Uzm.1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Ağırlık
(1)	1								0.0451
(2)	1	1							0.0516
(3)	1	1	1						0.0516
(4)	5	3	3	1					0.1295
(5)	5	3	3	1	1				0.1619
(6)	5	3	3	1	1	1			0.1295
(7)	1	1	1	1	1	1	1		0.0844
(8)	5	5	5	5	1	5	5	1	0.3463

¹ Çizelgelerde; (1) Toprak pH, (2) Kum içeriği, (3) Kil içeriği, (4) Sayısal Yükseklik Modeli, (5) Bakı, (6) Eğim, (7) Toprak derinliği, (8) İklimsel uygunluk olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 3.21. İkili karşılaştırma matrisi (3); CR=0.12.

Uzm. ¹²	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Ağırlık
(1)	1								0.0528
(2)	1	1							0.0726
(3)	1	1	1						0.0726
(4)	7	3	3	1					0.2908
(5)	3	3	3	1/7	1				0.1190
(6)	1/5	1/3	1/3	1/7	1/3	1			0.0299
(7)	3	1/3	1/3	1/5	3	1	1		0.0796
(8)	5	7	7	1	1	7	7	1	0.2826

Çizelge 3.22. Karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalaması.

Faktör	Ağırlık	Sıralama	Faktör	Ağırlık	Sıralama
İklimsel uygunluk	0.3529	1	Toprak derinliği	0.0553	5
Sayısal yükseklik modeli	0.2040	2	Toprak pH	0.0463	6
Bakı	0.1423	3	Eğim	0.0454	7
Kil içeriği	0.0641	4	Kum içeriği	0.0391	8

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen AHP matrislerinin sonuçlarına göre sıcaklık ve yağış parametrelerine bağlı iklimsel uygunluk faktörü %36'lık bir oranla diğer faktörlerden daha önemli görülmüştür. Deniz seviyesinden yüksekliği temsil eden sayısal yükseklik modeli faktörü ise %20'lik bir önem yüzdesine sahiptir. Burada en az öneme sahip faktör, %3'lük bir önem yüzdesine sahip olan toprak

² Çizelgelerde; (1) Toprak pH, (2) Kum içeriği, (3) Kil içeriği, (4) Sayısal Yükseklik Modeli, (5) Bakı, (6) Eğim, (7) Toprak derinliği, (8) İklimsel uygunluk olarak ifade edilmektedir.

kum içeriğidir. Burada elde edilen faktör ağırlıkları, EOYTM yer tespiti modelinde kullanılacaktır. Böylece yer tespiti sırasında her faktörün eşit öneme sahip olmadığı ve alanında uzman olan kişilere göre her faktörün birbiri arasında göreceli önem farkları olduğu ortaya konmuştur.

3.8.3 Enerji ormancılığı yapılabilecek alanların günümüz ve gelecek projeksiyonu [2050 – HADGEM2-ES, RCP 4.5] için EOYTM ile tespit edilmesi

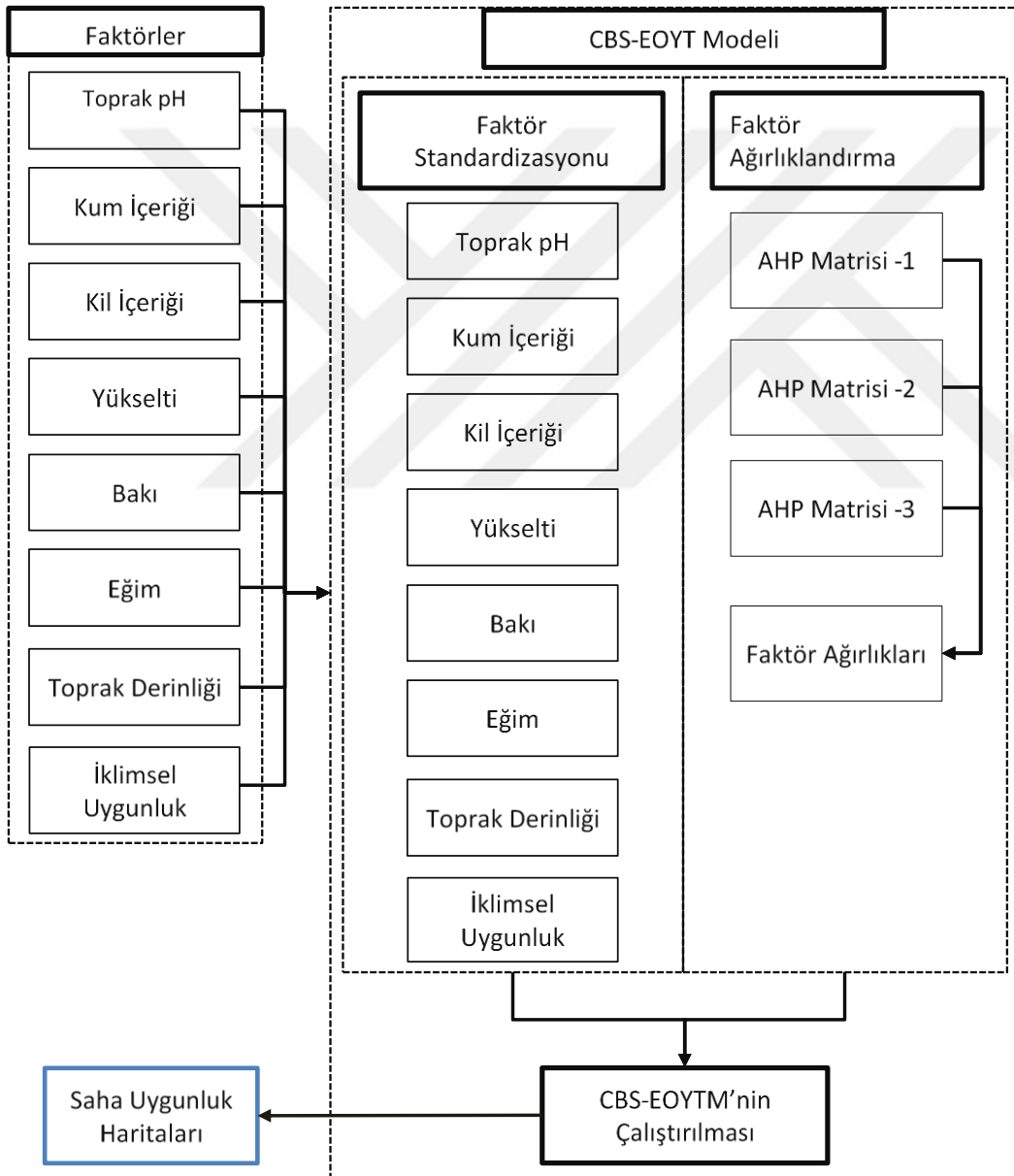
Yapılan tez çalışmasında (1) Başlık 3.7’de saha uygunluk analizi sonucu elde edilen potansiyel alan sınırları, (2) fuzzy metodu ile standardize edilen faktör katmanları (toprak pH, kum içeriği, kil içeriği, AKOD, SYM, bakı ve eğim), (3) BİUM ile tespit edilmiş iklimsel uygunluk katmanları (her model ağaç için günümüz iklimsel uygunlukları ve gelecek iklimsel uygunlukları) ve (4) AHP’den gelen ortalama ağırlık değerleri (Çizelge 3.22) Terrset yazılımında bulunan MCE (Multi-criteria Evaluation) modülüne girilmiş ve Türkiye genelinde *R. pseudoacacia*, *P. aculeata*, *A. altissima*, *L. leucocephala*, *M. azedarach* ve *P. euphratica* türlerinin yetiştirilebileceği alanlar tespit edilmiştir. EOYTM entegrasyonları diagram halinde Şekil 3.42’de verilmektedir.

Terrset’te bulunan MCE modülünde (Şekil 3.43), sonuçların elde edilmesinde kullanılan yöntem ağırlıklı doğrusal kombinasyon (*Weighted Linear Combination* - WLC) yaklaşımı olmuştur. Malczewski’ye (2000) göre, WLC yaklaşımı en yaygın kullanılan CBS tabanlı çok kriterli karar analizi yaklaşımlarından biridir. Bu yöntem, arazi uygunluğu ve yer seçimi analizi için matematiksel analiz işlemlerini ve kartografik modellemeyi CBS ortamında oldukça kolay bir şekilde uyguladığı için sıklıkla kullanılmaktadır. WLC’nin iki kritik unsuru vardır: (1) faktörlere atanan ağırlıklar ve (2) faktörlerin aynı skalada olmasını sağlayan standardizasyon prosedürleri (Malczewski, 2000). Çalışmada kullanılan WLC, bu iki unsuru şu şekilde içermektedir:

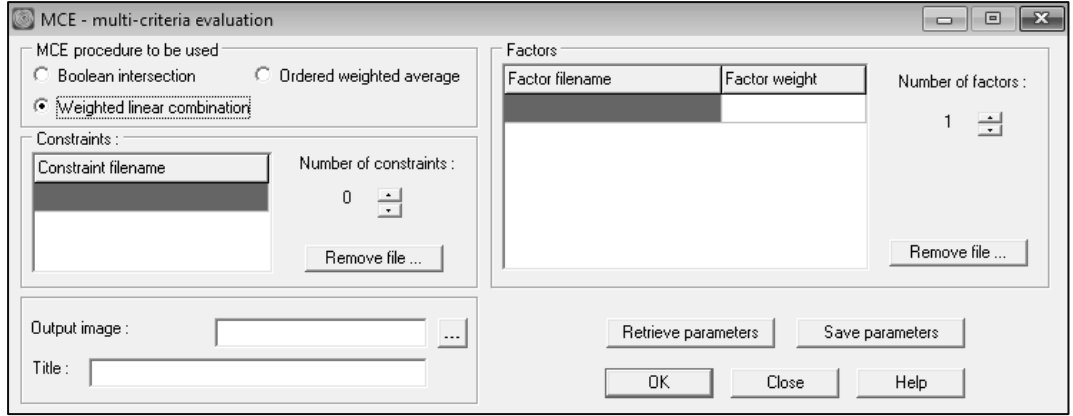
Prosedür: Fuzzy standardizasyonu (karşılaştırılabilir faktör katmanları), BİUM iklimsel uygunluk analizi ve

Ağırlıklandırma: AHP yaklaşımı (her bir faktör için toplu ağırlıklar).

WLC yöntemi, sonuç katmandaki her piksel için genel skoru elde etmek amacı ile çarpma ve toplama-çakıştırma işlemlerini kullanarak standardize faktör katmanlarını ve ağırlıkları birleştirir (Malczewski, 2000; Aydın and Sarptaş, 2020). Burada en yüksek puana sahip piksel en iyisidir. Örneğin, fuzzy standardizasyonlu kum içeriği katmanının her pikseli, Çizelge 3.22'deki ağırlığı olan 0.0391 ile çarpılmıştır. SYM 0.2040, iklimsel uygunluk ise 0.3529 ile çarpılmıştır. Bu çarpımlar, enerji ormancılığı yapılabilecek alanların model ağaçlar temelinde tespitine yönelik teknik değerlendirmede uygunlukların elde edilmesi için Şekil 3.42'deki modül arayüzünde bileşik bir sıralamada kullanılmıştır.



Şekil 3.42. CBS-tabanlı Enerji Ormancılığı Yer Tespiti Modeli (CBS-EOYTM) diyagramı.



Şekil 3.43. Terrset MCE arayüzü.

Şekil 3.43’te, MCE modülündeki “Factors” kısmına model ağaçlar için oluşturulan ve standardize edilmiş toprak pH, toprak kil içeriği, toprak kum içeriği, AKOD, SYM, eğim ve bakı katmanları; BİUM ile elde edilmiş iklimsel uygunluk katmanları ve hesaplanan AHP matrislerine ait sonuç ağırlık değerleri (Çizelge 3.22) entegre edilmiştir. Constraints (kısıtlar) kısmına ise saha uygunluk analizinden elde edilen potansiyel alan poligon verisi eklenmiştir. Her faktör, uzmanlar tarafından ağırlıklandırıldığından dolayı (AHP sonuçları), modülde MCE prosedürü olarak Weighted Linear Combination (Ağırlıklandırılmış Lineer Kombinasyon) kullanılmıştır. MCE modülü, model olarak ele alınan 6 bitki için ayrıca çalıştırılmış ve günümüz dönemi için 6 ve gelecek dönemi için 6 olmak üzere toplam 12 ayrı uygunluk haritası oluşturulmuştur.

CBS verilerinin gösteriminde hangi semboloji yöntemlerinin verileri en anlamlı şekilde sunacağını bilmek önemlidir. Veriler için dört ölçüm seviyesi bulunmaktadır. Bunlar (1) nominal, (2) ordinal, (3) aralık ve (4) oran’dır. **Nominal** öznitelikler en basit veri türüdür ve bir detayı diğerinden ayırmaya yarar. **Ordinal** öznitelikler ise verilerin sıralamasını belirler (iyi, kötü, orta vb.). **Aralık** verileri sabit kalan deperler arasındaki aralık ile sayısalıdır. **Oran** veriler ise iki değer oranının anlamlı bir veri şeklinde olması ile ortaya çıkar (Esri Türkiye, 2020).

Saha uygunluk haritalarındaki uygunluk sınıfları 0-1 arasında olup; haritalama aşamasında, katmanların göstergeleri, “equal intervals” sınıflandırmasına göre 4 eşit sınıfa bölünmüştür. Burada gösterimin özneteliği ordinal olarak belirlenmiştir. Amaç sınıflandırmayı, verilerin sıralaması ve gruplandırılması şeklinde vermektir. Burada sınıf aralıkları;

- Düşük uygun: %0 - %25 uygunluk;
- Orta uygun: %25 - %50 uygunluk;
- Uygun: %50 - %75 uygunluk ve
- En uygun: %75 - %100 uygunluk şeklindedir. EOYTM sonuçları hem günümüz hem de 2050 için bu semboloji esas alınarak ifade edilecektir.



4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Gelecek Periyodu (2041-2060 - HADGEM2-ES RCP 4.5 / 2050) ile Günümüz (Referans) Periyodu Arasındaki İklim Anomalileri

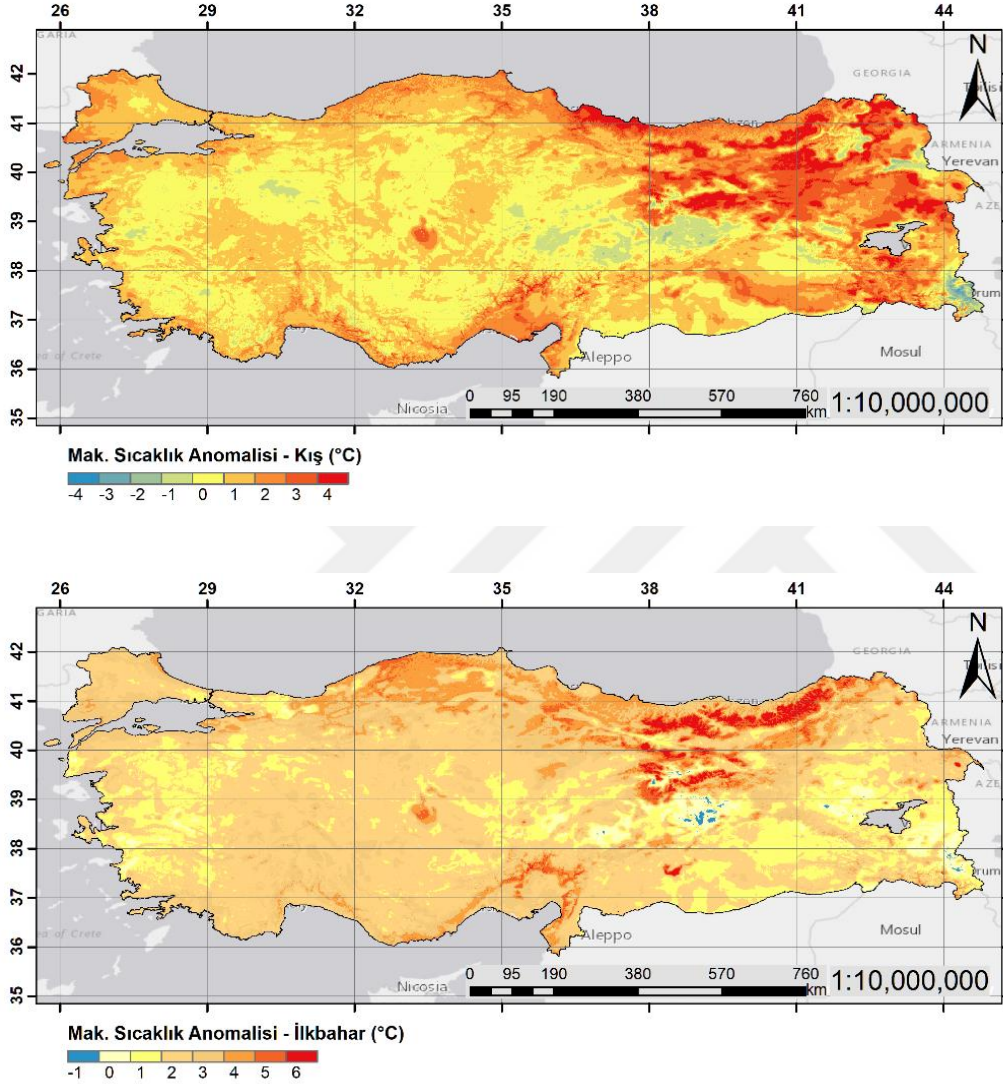
Tez çalışmasında günümüz iklimsel verileri ile geleceğe yönelik HADGEM2-ES RCP 4.5 iklim verilerinin karşılaştırılması da gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi ise iklim projeksiyonlarının günümüz iklimsel parametreleri gibi ayrı ayrı gösterilmesi yerine günümüz referans periyodu ile karşılaştırılmasının daha anlamlı olmasıdır. Bunun için sıcaklık ve yağış anomalileri tespit edilmiştir. Anomalilerin tespiti amacıyla Terrset yazılımı ortamında zaman serisi analizi gerçekleştirilmiş olup her ayın sıcaklık ve yağış anomalileri bu analiz sonucunda görselleştirilmiştir. Görselleştirme ise maksimum ve minimum sıcaklık ortalamalarına ait anomaliler için °C cinsinden; toplam yağış anomalisi için (mm) cinsinden yapılmıştır. Burada gelecek periyodu olan 2041-2060 uzun dönemi (HADGEM2-ES RCP4.5 / 2050) ile referans periyodu olan 1970-2000 uzun dönemi arasındaki fark ortaya konarak mevsimsel anomaliler tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular Şekil 4.1 ile Şekil 4.3 arasında verilmektedir.

2010 yılından bu yana, Türkiye (alt bölgeleri veya çevresi) için yeni senaryolarla bir dizi bölgesel iklim simülasyonu çalışması yapılmıştır. Temsili Konsantrasyon Rotalarına (RCP) ait senaryolara dayalı Bölgesel İklim Modeli (Regional Climate Models – RCM) simülasyonları, Demir vd. (2013), Demircan vd. (2014a; 2014b; 2014c), Turp et al., (2014) ve Oztürk et al., (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda, tüm bölge için bir sıcaklık artışı ve genel olarak yıllık yağışların azaldığını bulmuşlardır (Demircan et al., 2017). Demircan et al., (2017) tarafından son dönemde yapılan çalışmada ise yazarlar, üç farklı Küresel İklim Modeli'ne (GCM) (HADGEM2-ES, MPI-ESM-MR³ ve GFDL-ESM2M⁴) ve iki farklı Temsili Konsantrasyon Rotası'na (RCP 4.5, RCP 8.5) göre üç farklı gelecek periyodunun (2016-2040; 2041-2070; 2071-2099), referans periyoduna göre (1970-2000) sıcaklık ve yağış anomalilerini incelemişlerdir. Bu incelemenin yapılmasında, Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları; RegCM4.3.4 bölgesel

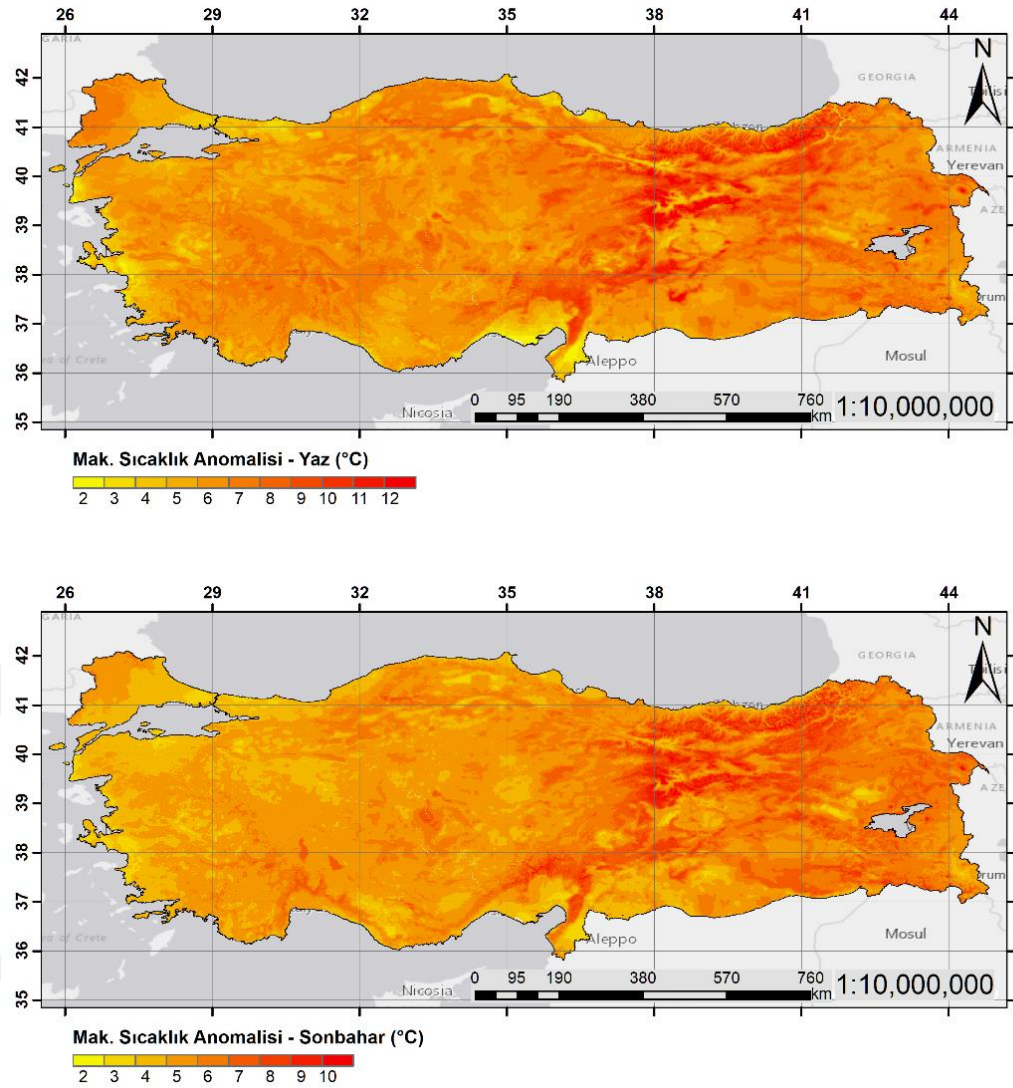
³ Earth-System Model developed by Max Plank Institute (MPI) for Meteorology

⁴ Earth-System Model developed by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)

iklim modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak, 20 km yersel çözünürlükte ve 2016-2099 yıllarını kapsayan bir dönem için üretilmiştir (Demircan et al., 2017). **Tez çalışmasında ise bu analizler, HADGEM2-ES RCP 4.5 senaryosuna göre ve daha yüksek yersel çözünürlük olan 1 km yersel çözünürlükte gerçekleştirilmiştir.**



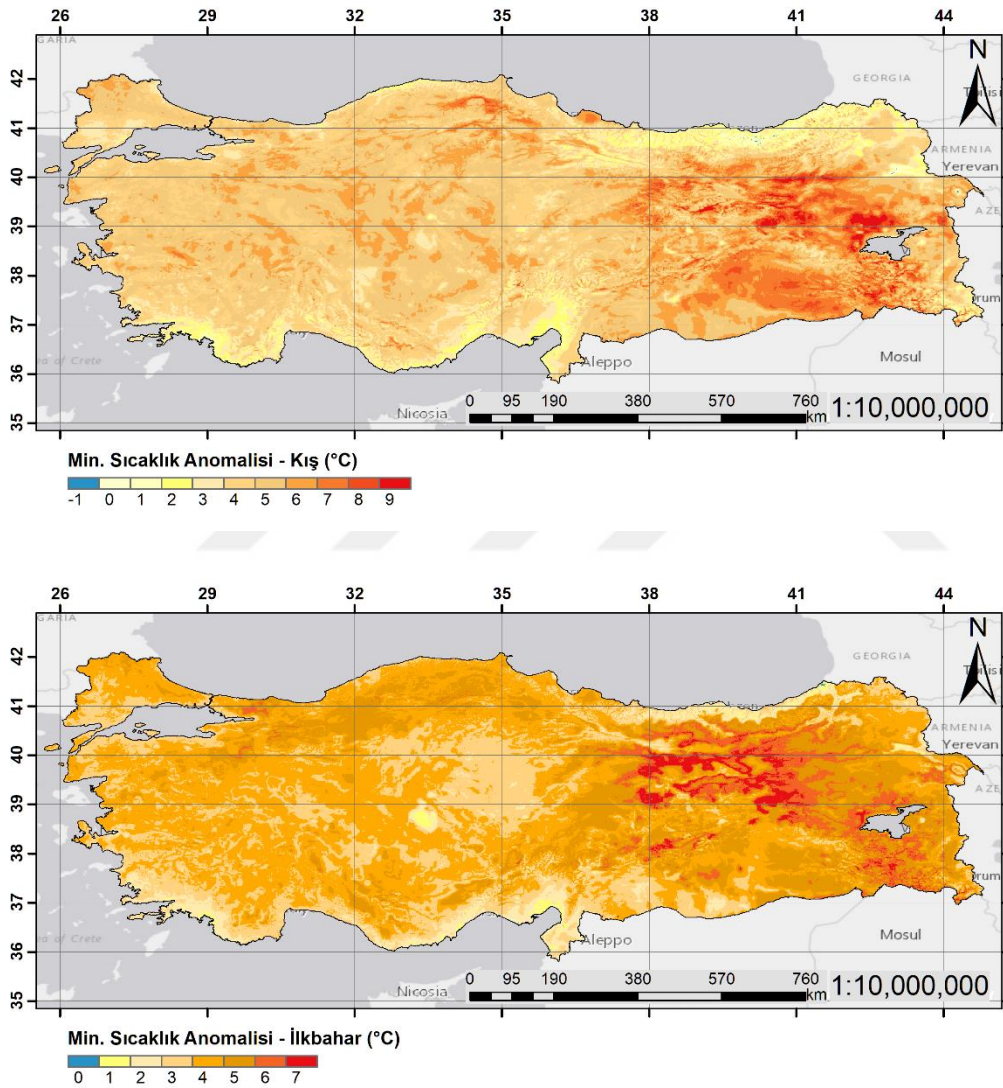
Şekil 4.1. Ortalama maksimum sıcaklığa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).



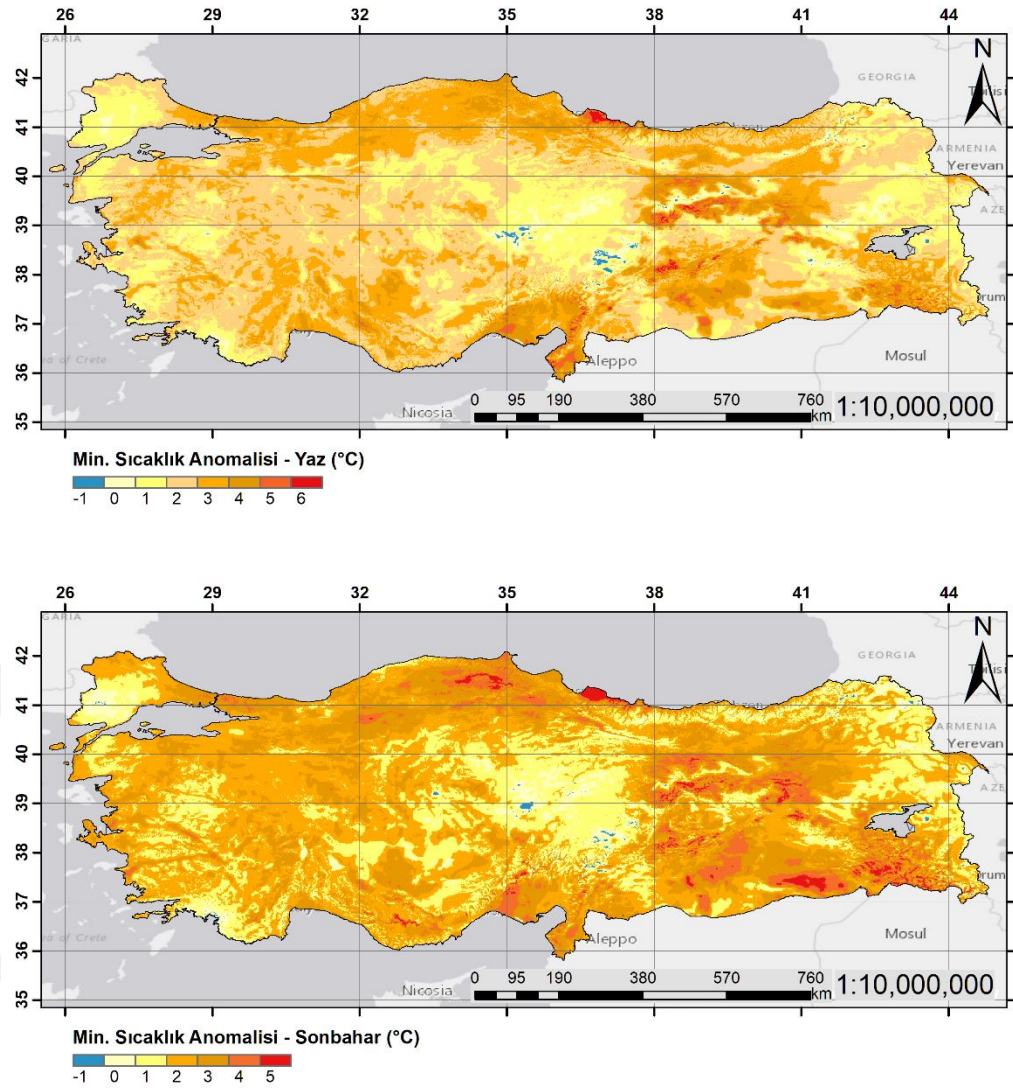
Şekil 4.1(devamı). Ortalama maksimum sıcaklığa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).

Şekil 4.1’de, 2041-2060 gelecek periyodunda (HADGEM2-ES RCP 4.5 / 2050), Türkiye’nin birçok yerinde pozitif anomali göze çarpmaktadır. Kış mevsiminde maksimum sıcaklıklar (-4°C , $+4^{\circ}\text{C}$) özellikle Türkiye’nin kıyı bölgelerinde (Akdeniz Bölgesi $+1^{\circ}\text{C}$ - $+3^{\circ}\text{C}$; Ege Bölgesi $+0^{\circ}\text{C}$ - $+1^{\circ}\text{C}$; Karadeniz Bölgesi $+1^{\circ}\text{C}$ - $+4^{\circ}\text{C}$), Doğu Anadolu’nun büyük bir bölümünde (bölgenin batısı ve Iğdır-Ardahan bölümü hariç) ($+1^{\circ}\text{C}$ - $+4^{\circ}\text{C}$) ve Güneydoğu Anadolu (Hakkâri bölümü hariç) Bölgesi’nde ($+1^{\circ}\text{C}$ - $+3^{\circ}\text{C}$) artış göstermektedir. İç Anadolu Bölgesi’nde anomalinin olmadığı yerler (0°C) bulunurken Tuz Gölü Havzası’nda pozitif anomali ($+2^{\circ}\text{C}$) görülmektedir. İlkbahar mevsimi maksimum sıcaklıkları (-1°C , $+6^{\circ}\text{C}$) ise yine tüm ülkede pozitif anomaliye sahiptir. Sıcaklıklar referans

periyoda (1970-2000) göre artış gösterecektir. Doğu Karadeniz bölümünde Samsun'dan Trabzon'a kadar uzanan bölgede sıcaklıklar, 2°C ila 6°C arasında artacaktır. Sivas, Elâzığ ve Erzurum arasındaki bölge ise yine güçlü pozitif anomalinin görüldüğü yerlerden biridir; burada anomalinin oluşmadığı yerler bulunsa bile genel eğilim sıcaklık artışı yönündedir (+1°C-+6°C). Yaz ve sonbahar mevsimi ise maksimum sıcaklık yönünden en güçlü pozitif anomalinin yaşandığı mevsimlerdir. Özellikle yaz mevsiminde maksimum sıcaklıklar 12°C 'ye kadar artacaktır.



Şekil 4.2. Ortalama minimum sıcaklığa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).



Şekil 4.2(devamı). Ortalama minimum sıcaklığa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).

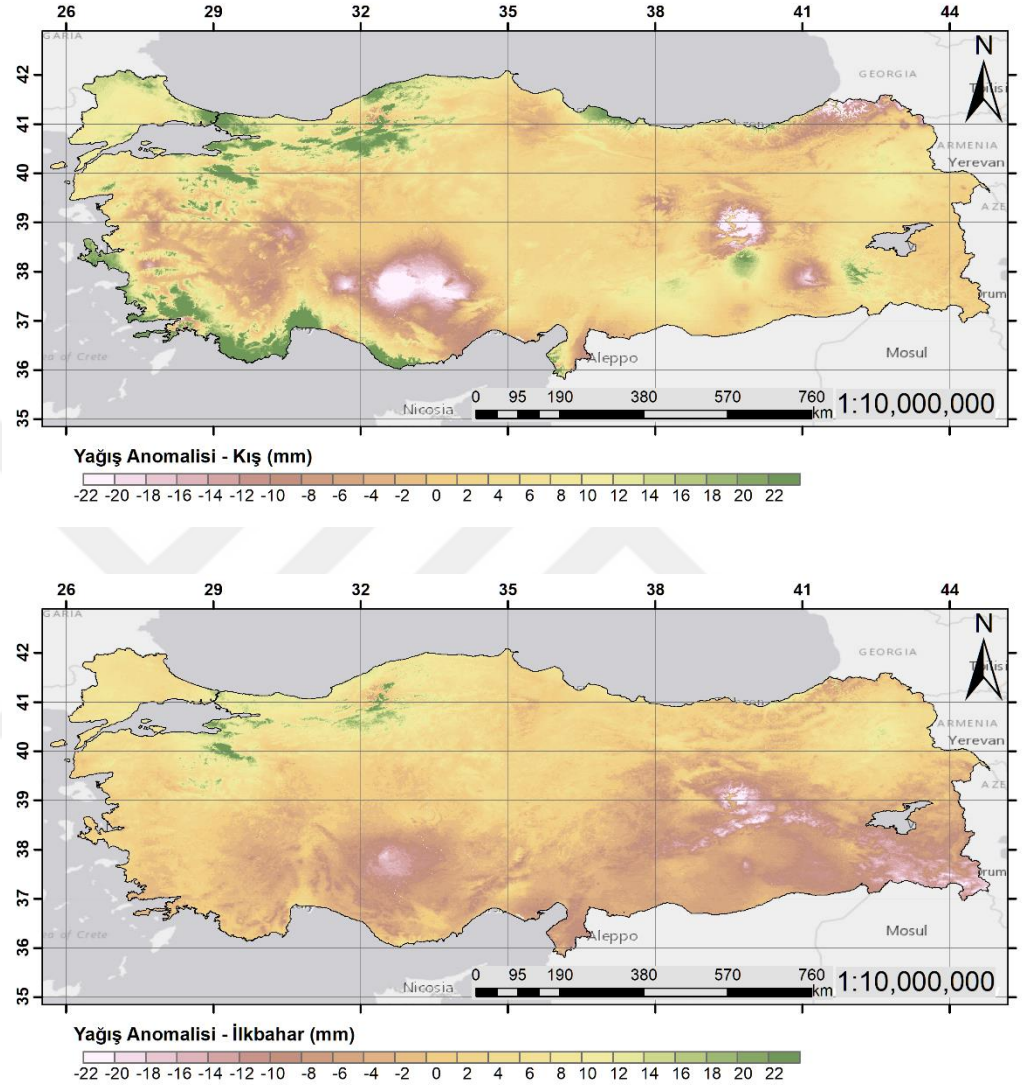
Şekil 4.2’de, Şekil 4.1’de olduğu gibi, gelecek periyodunda referans periyoda göre minimum sıcaklıklarda artışlar görülecektir. Ülkemizde negatif anomalinin yaşanacağı yerler alansal olarak oldukça küçüktür. Maksimum ve minimum sıcaklıklar birlikte ele alındığında, ülkemizde, sıcaklıkların gelecek periyotta artacağı ifade edilebilir. Özellikle havzaların bulunduğu bölgelere daha detaylı bakılmalıdır. Tez çalışmasında tespit edildiği üzere ülkemizin Fırat-Dicle bölümünde (maksimum sıcaklık - yaz $+5^{\circ}\text{C}$ - $+12^{\circ}\text{C}$; minimum sıcaklık – yaz $+1^{\circ}\text{C}$ - $+5^{\circ}\text{C}$) maksimum ve minimum sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra yine ülkemizin, Göller Bölgesi olarak geçen ve Akdeniz Bölgesi’ndeki Acıgöl, Akgöl, Akşehir, Beyşehir, Burdur, Eber, Eğirdir, Gavur,

Ilgın, Işıklı, Karamık, Karataş, Kovada, Salda, Suğla ve Yarışlı göllerinden oluşan bölgesinde de sıcaklıkların gelecek periyodunda artacağı (maksimum sıcaklık kış $+1^{\circ}\text{C}$ - $+2^{\circ}\text{C}$; ilkbahar $+2^{\circ}\text{C}$ - $+3^{\circ}\text{C}$; yaz $+5^{\circ}\text{C}$ - $+8^{\circ}\text{C}$; sonbahar $+3^{\circ}\text{C}$ - $+6^{\circ}\text{C}$) çıkan sonuçlardandır. Yine İç Anadolu Bölgesi'nin önemli havzalarından olan Tuz Gölü Havzası da sıcaklık artışı yönünden güçlü pozitif anomaliye sahiptir. Marmara ve Ege bölgeleri ile Karadeniz Bölgesi'nde de sıcaklıklar referans periyoda göre artacaktır.

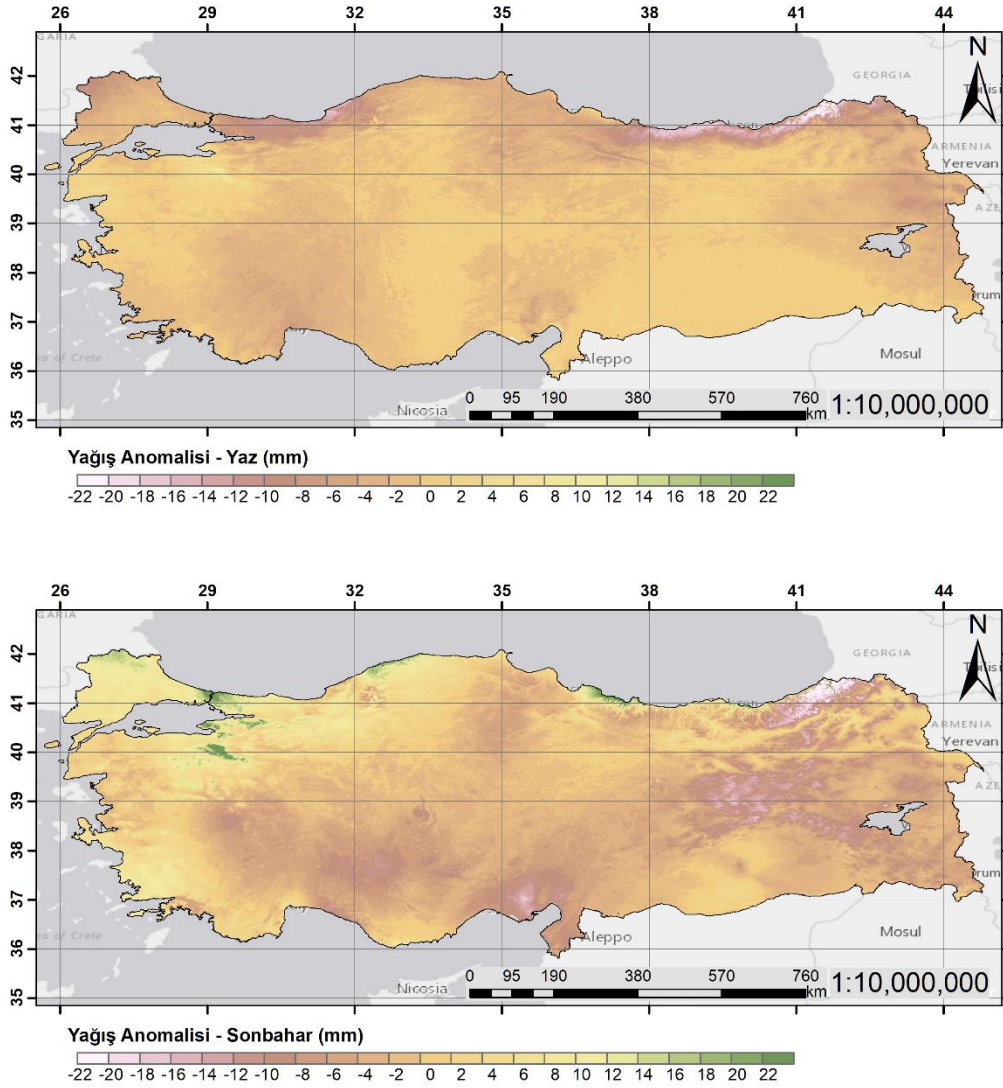
Elde edilen bu bulgular, Demircan et al., (2017) tarafından yapılmış çalışmalar ile uyum göstermektedir. Yapılan çalışmada, ortalama sıcaklıkların, ikinci gelecek periyodunda HADGEM2-ES modeline göre tüm mevsimlerde pozitif anomaliye sahip olduğu görülmüştür. Kış mevsimindeki ortalama sıcaklıkların özellikle Doğu Anadolu Bölgesi'nde en yüksek olduğu çalışmada belirtilirken; burada kış mevsiminde sıcaklıkların arttığı ifade edilmiştir. Kış aylarında sıcaklıktaki artışın yağış tipinin kardan yağmura dönmesine neden olabildiği, karın, yıl boyunca su sağlayan önemli bir su kaynağı olduğu ve ayrıca sıcaklık artışlarının ilkbaharda karın erken erimesine neden olabildiği yine Demircan et al., (2017) tarafından yapılmış çalışmada vurgulanmıştır. Yaz mevsiminde de tıpkı tez çalışmasında olduğu gibi sıcaklıklar en güçlü pozitif anomaliye sahip olmuştur. Sonbahar mevsimi de yaz mevsimi gibi ülke genelinde yine güçlü bir pozitif anomaliye sahiptir. Tez çalışmasında sıcaklık anomalileri ile ilgili elde edilen bulgular Turp et al., (2014) tarafından HADGEM2-ES modeli ile yapılan ve ortalama hava sıcaklıklarının baz alındığı çalışma ile de uyumluluk göstermektedir. Bu çalışmada, 2070-2100 yılları için özellikle yaz mevsiminde yüksek anomalilerin yaşanacağı belirtilmiştir. Tez çalışmasında da aynı şekilde 2041-2060 gelecek periyodunda anomalinin en yüksek çıktığı mevsim yaz mevsimi olmuştur.

Tez çalışmasında elde edilen bulgularda, önemli su kaynaklarının yer aldığı alanlarda da sıcaklıkların artacağına öngörülmesi, ülkemizde suyun geleceği için oldukça önemli bir problemdir. Global Surface Water Explorer (2020) veritabanından elde edilen sonuçlara göre 1984-2019 yılları arasında büyük ölçüde su kaybeden Eber, Akşehir, Karamık, Işıklı, Acıgöl, Akgöl bugün Göller Bölgesi adı verilen bölgede bulunmakta olup gelecekte bu bölgede sıcaklık artışlarının öngörülmesi, mevcut su kaynaklarının daha da azalması ve bu bölgede yaşayan insanlar ile çevredeki biyoçeşitliliğin tehlike altına girmesi anlamına gelmektedir. Tez çalışmasında elde edilen bulgular, Tuz Gölü ile ilgili olarak Aydın et al., (2020) tarafından yapılan çalışmayı da destekler niteliktedir. Yazarlar tarafından yapılan

çalışmada da belirtildiği gibi, Tuz Gölü Havzası'ndaki suyun yıllar içinde (1985-2016) çekilmesi, yer altı sularının aşırı kullanımı ve gölün yağış hassas bir duruma gelmesi, gelecekte yaşanacak sıcaklık artışı ile birlikte kurak dönemlerde gölün sularının tamamen yok olması anlamına gelebilecektir.



Şekil 4.3. Toplam yağışa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).



Şekil 4.3(devamı). Toplam yağışa ait mevsimsel anomaliler (Gelecek periyot, 2041-2060 HADGEM2-ES RCP 4.5[2050]; referans periyot, 1970-2000).

Şekil 4.3'te, genel olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nin Elâzığ ve çevresinde ((-1mm)-(-22mm)), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Diyarbakır ve Batman bölümünde ((-5mm)-(-21mm)), İç Anadolu Bölgesi'nin Konya bölümünde ((-4mm)-(-22)), Ege Bölgesi'nin iç kesiminde ((-2mm)-(-18mm)) ve Akdeniz Bölgesi'nin orta ve doğu kesimleri ile ((-1mm)-(-12mm)) Göller Bölgesi olarak adlandırılan kesiminde ((-2mm)-(-13mm)) kış yağışlarında azalma olacaktır. Akdeniz Bölgesi'nin batı kesiminde, Ege Bölgesi'nin İzmir bölümünde, Marmara Bölgesi'nde İstanbul'da ve Batı Karadeniz bölümünde ise 22 mm'ye varan yağış artışları öngörülmektedir. İlkbahar yağışları ise Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu'nun batısı ve İç Anadolu'nun Konya kesimi ile Ege Bölgesi'nin iç

kesimlerinde negatif anomaliye sahiptir. Yine Doğu Karadeniz bölümünde de yağışlar, referans periyoduna (1970-2000) göre azalacaktır. Kış mevsiminde yağış artışı olan bölgelerde ilkbahar yağışlarının kış mevsimine göre azalacağı, elde edilen bir başka bulgudur. Şekil 4.3b’de ise yaz mevsiminde, Doğu Anadolu’da, yağışların azalacağı öngörülmektedir ((-2mm)-(-14mm)). Doğu Karadeniz bölümünde de yaz mevsiminde güçlü negatif anomali göze çarpmaktadır ((-9mm)-(-22mm)). Yaz mevsiminde, tüm bölgelerde, genel olarak negatif anomaliler görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi de zayıf da olsa negatif anomali eğilimindedir (-1mm). Sonbahar toplam yağış anomalilerine bakıldığında ise Marmara Bölgesi’nde İstanbul ve Bursa, Ege Bölgesi’nin kıyı kesimleri, Orta ve Doğu Karadeniz bölümünün kıyı kesimleri hariç diğer bölgelerde yağış azalması öngörülmektedir.

Şekil 4.3’te elde edilen ve kış ve ilkbahar anomalilerine ait bulgular, Demircan et al., (2017) tarafından yapılan çalışmalar ile genel bir uyum göstermektedir. Yazarlar, tez çalışmasının da gelecek periyodunu içine alan 2041-2070 döneminde, HADGEM2-ES ve MPI-ESM-MR’ye göre genel olarak Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi’nin orta ve doğu kesimlerinde kış yağışlarında yaklaşık %20 azalma olacağını ifade etmişlerdir. Tez çalışmasında da aynı bulgu elde edilmiştir. Bunun yanı sıra yine tez çalışması ile uyumlu olarak yazarlar, ilkbaharda Anadolu’nun iç kesimlerinde azalma olacağını belirtmişlerdir.

Burada yaz ve sonbahar anomalilerine ait bulgular, Demircan et al., (2017) tarafından yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında ise şu benzerlikler ve farklılıklar ile karşılaşmıştır. Yaz mevsiminde, Doğu Anadolu Bölgesi’nde, iki çalışmada da azalma tespit edilmiştir. Demircan et al., (2017), Marmara Bölgesi’nde yaz mevsiminde yağış artışı beklerken; tez çalışmasında bu bölgede azalma öngörülmüştür. Sonbahar mevsiminde, Ege Bölgesi’nin kıyı kesimlerinde iki çalışmada da yağış artışı öngörüsü yapılmıştır. Ancak tez çalışmasında, Demircan et al., (2017)’den farklı olarak, İstanbul ve Bursa ile Orta ve Doğu Karadeniz bölümünün kıyı kesimlerinde yağış artışı tespiti yapılmıştır. Burada ortaya çıkan farklılıklar, iki çalışmada da ele alınan verilerin yersel çözünürlüğünün ve dolayısı ile barındırdıkları değerlerin farklılıklarından kaynaklanıyor olabilir. Bu gibi çalışmalarda, genel olarak, ele alınan modellerin (GCM) farklı oluşu, yersel çözünürlük farkları (örneğin Turp et al., 2015), ölçek küçültme işlemlerinin nasıl yapıldığı gibi hususlar sonuçlarda bazı farklılıkların oluşmasına neden olabilmektedir.

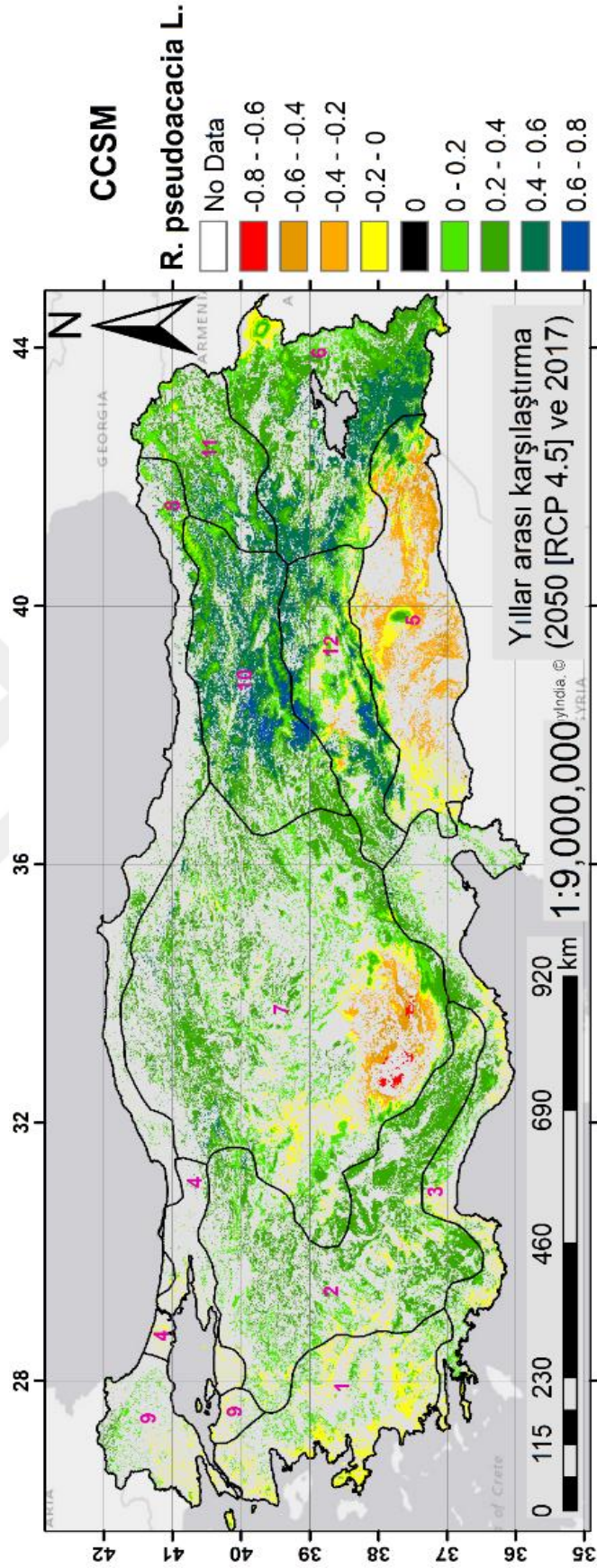
4.2 Bitki İklimsel Uygunluk Modeli (BIUM): Günümüz ve Gelecek Referans Yıl İçin İklimsel Uygunlukların Değişimine Ait Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında günümüz iklimsel uygunlukların tespit edilmesinde Worldclim 1.4 veritabanından 1970-2000 yıllarının ortalaması; geleceğe yönelik iklimsel uygunlukların tespitinde ise HADGEM2-ES RCP 4.5 projeksiyonuna göre 2050 yılına (2041-2060 ortalaması) ait aylık toplam yağış (mm), aylık ortalama sıcaklık (°C), aylık ortalama maksimum sıcaklık (°C) ve aylık ortalama minimum sıcaklık (°C) katman verileri temin edilmiştir.

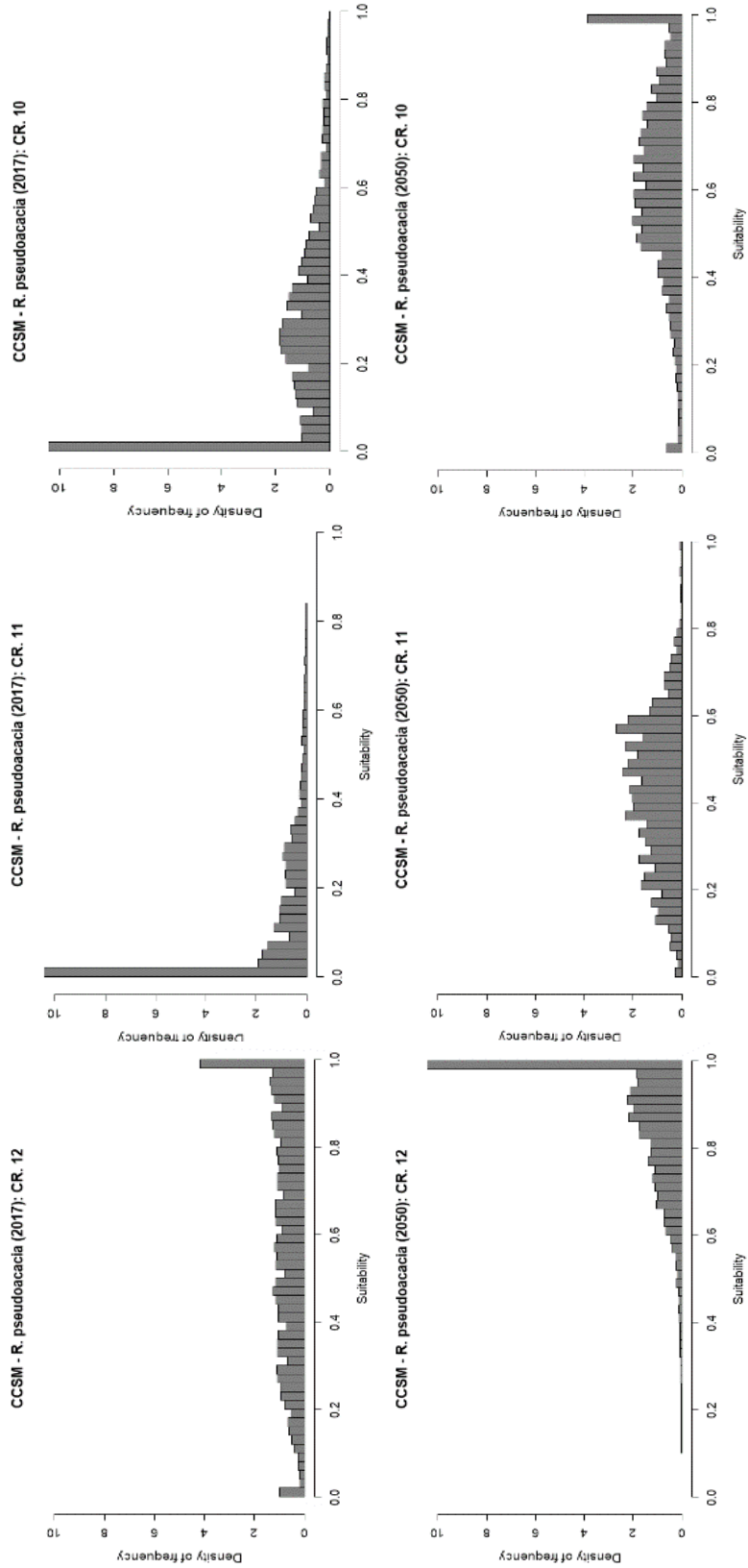
İklim verileri Terrset ortamında bulunan Bitki İklimsel Uygunluk Modeline (*Crop Climate Suitability Modelling – CCSM*) girilmiştir. Bu aşamadan sonra her model ağaç için Çizelge 3.11’de bulunan ve bitkilere ait sıcaklık ve yağış isteklerini içeren değerler esas alınarak, BIUM çalıştırılmış ve günümüze ve geleceğe ait iklimsel uygunluk katmanları tüm model ağaçlar için tespit edilmiştir. Yapılan tespitler günümüz ve 2050 yılları arasında olup; bu iki dönem arasındaki farklılığın tespit edilmesi işlemi de ayrıca gerçekleştirilmiştir. Burada, iki dönem arasındaki fark için ArcGIS 10.6 yazılımından yararlanılmıştır. Bu katmanlardaki pozitif farklar, model ağaçların 2050 yılında iklimsel uygunluğunun artacağı anlamına gelmektedir. Konumsal bazda bakıldığında uygun olan alanların pozitif olarak değişeceği alanlar katmanlardan tespit edilebilmektedir. Tez çalışmasının bu başlığı altında hem değişimi gösteren katmanlar hem de bu farkların iklim bölgelerine göre değişimine yönelik histogram analiz sonuçları verilmektedir. İklim bölgeleri histogram analizinde, majör değişimlerin olduğu olduğu iklim bölgelerine yoğunlaşmıştır. Histogram analizinde tüm ağaç türleri için R kodlama dili kullanılmış olup yazılan kod aşağıdaki gibidir;

```
“hist(treename_bium_2050_reg1_, freq=FALSE, xlim=c(0,1), ylim=c(0,10),
breaks=50, col="blue", border="black", main="BIUM RCP 4.5 - Treename
(20XX): CR. 1_", ylab="Density of frequency", xlab="Suitability",
cex=1.6, cex.main=1.4, cex.lab=1.2, cex.axis=1.1, maxpixels=10000000)”
```

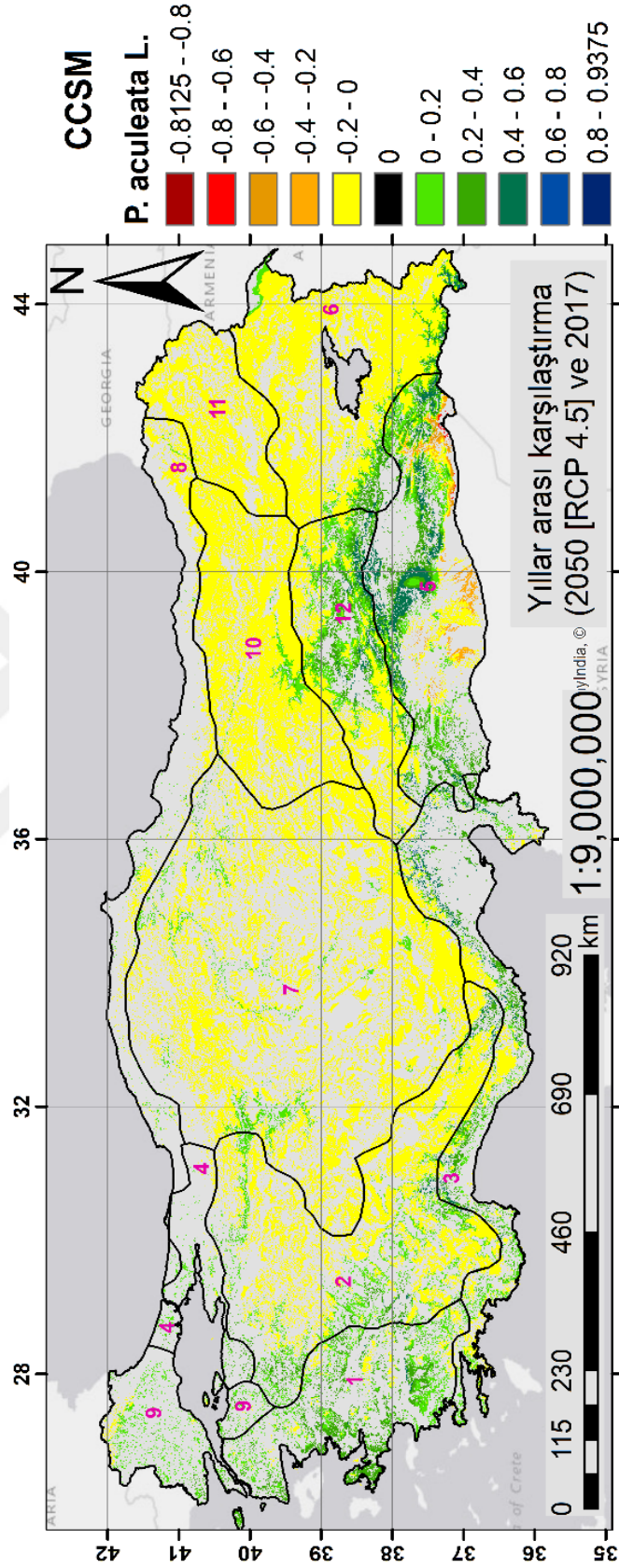
Bu aşamada bahsedilen tüm analizler her ağaç için ayrı ayrı yapılmıştır. Analizlere ait sonuçlar Şekil 4.4 ile Şekil 4.15 arasında verilmektedir.



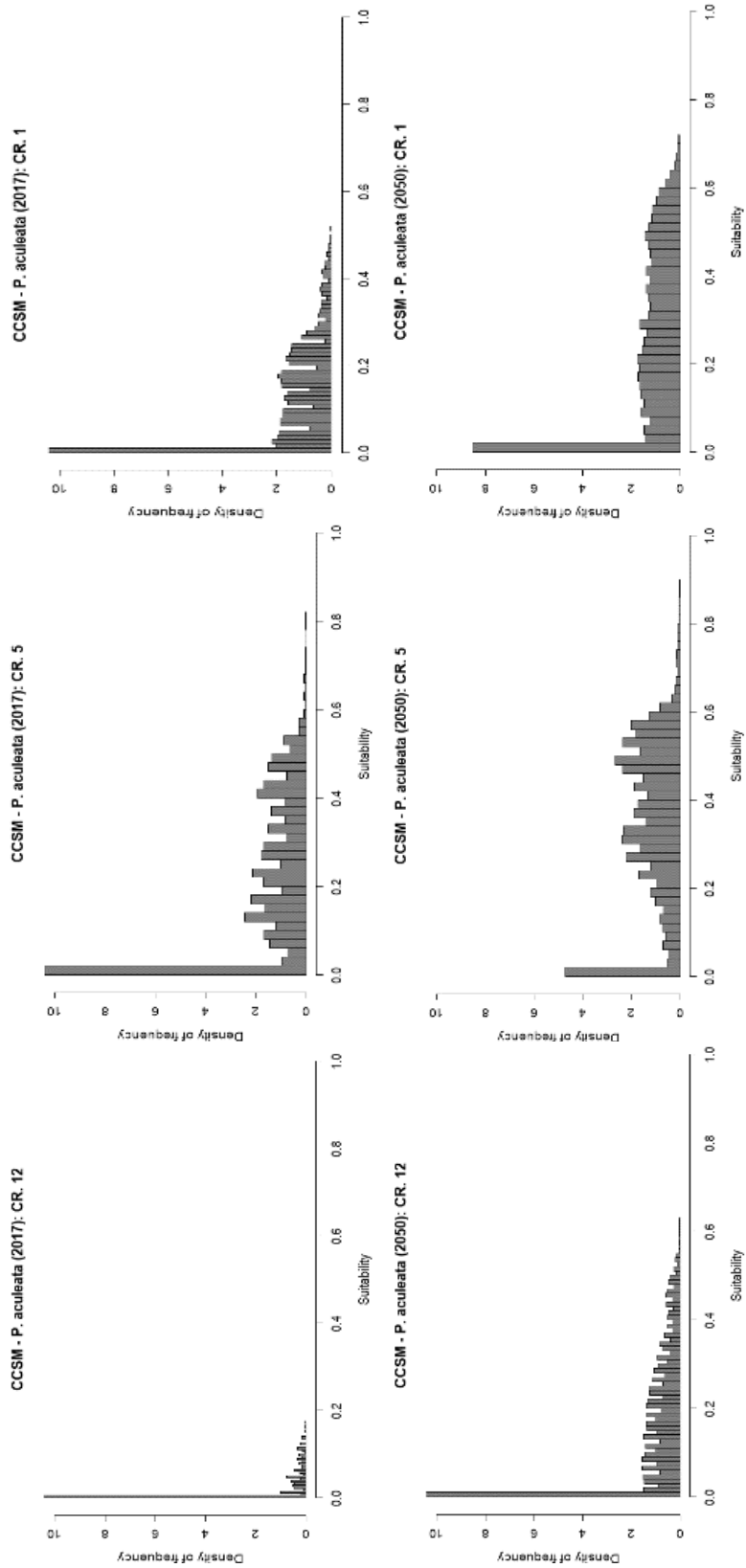
Şekil 4.4. *R. pseudoacacia* için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.



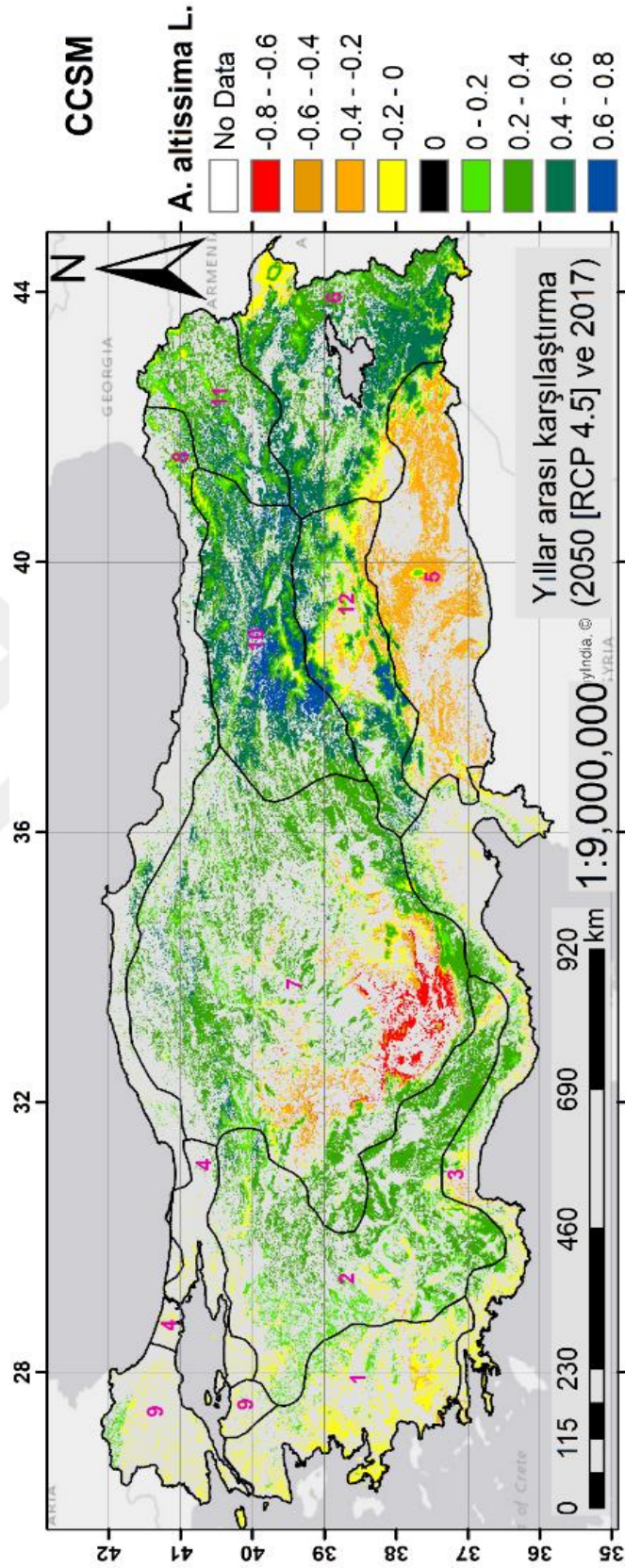
Şekil 4.5. İklim bölgesi 10’da (yarı-nemli karasal İç Anadolu’dan Doğu Anadolu’ya geçiş iklimi bölgesi); 11’de (yarı-nemli soğuk Karasal Kuzeydoğu Anadolu yağışlı yazı) ve 12’de (yarı-nemli Karasal Akdeniz’den Doğu Anadolu’ya geçiş iklimi) 2017 ve 2050 için *R. pseudoacacia* iklimsel uygunluk histogramları.



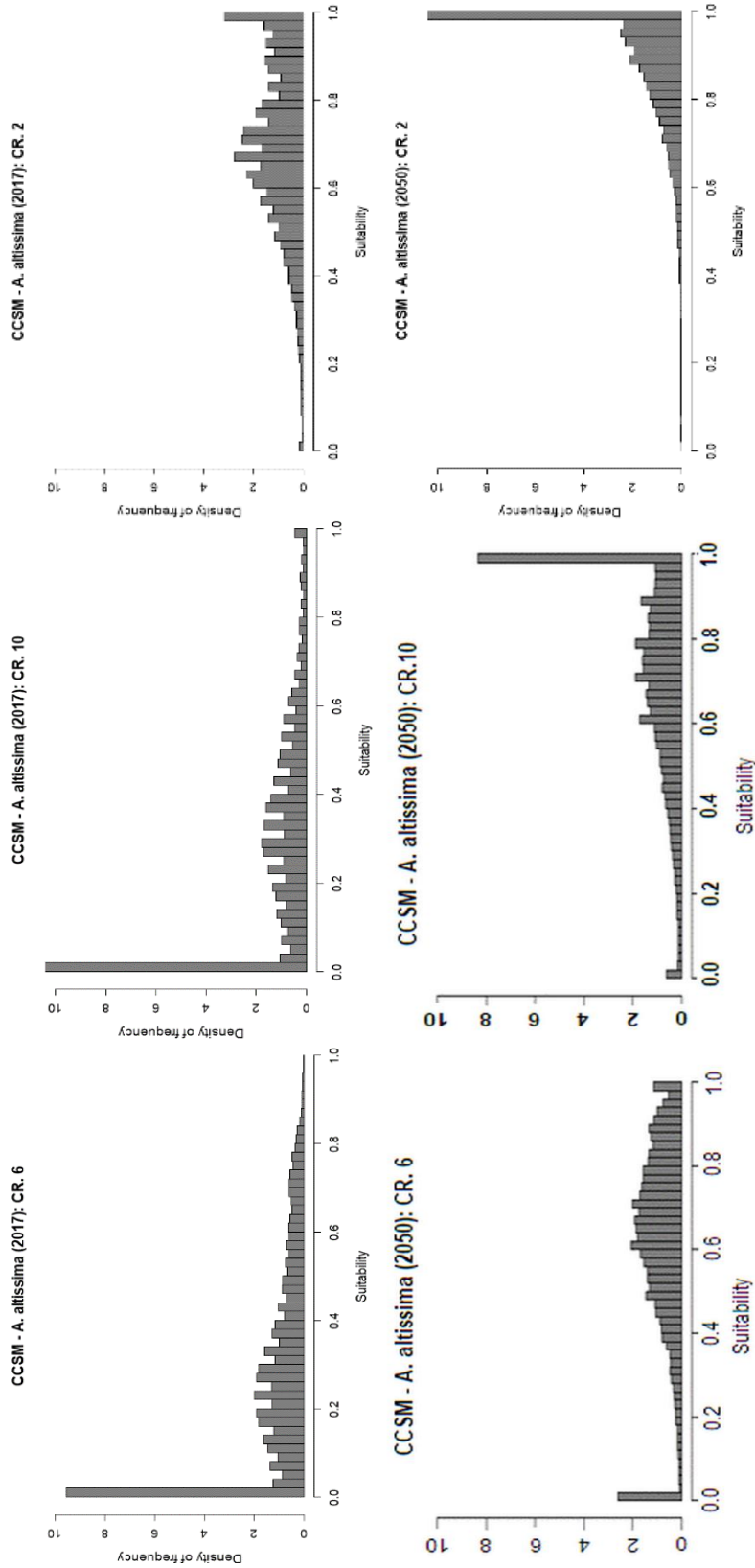
Şekil 4.6. *P. aculeata* için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.



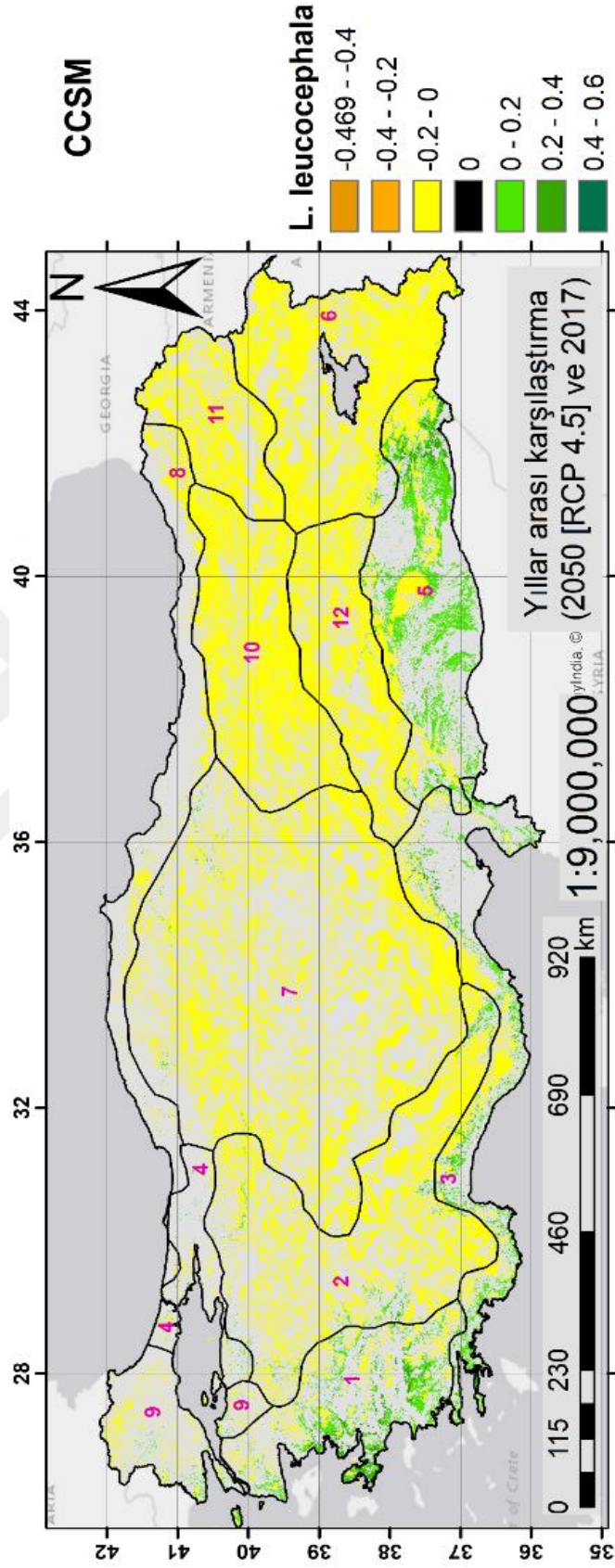
Şekil 4.7. İklim bölgesi 1’de (alttropikal yarı-nemli Ege sahili kuru yazı); 5’te (alttropikal yarı-nemli/yarı-kurak karasal Akdeniz kuru yazı) ve 12’de (yarı-nemli Karasal Akdeniz’den Doğu Anadolu’ya geçiş iklimi) 2017 ve 2050 için *P. aculeata* iklimsel uygunluk histogramları.



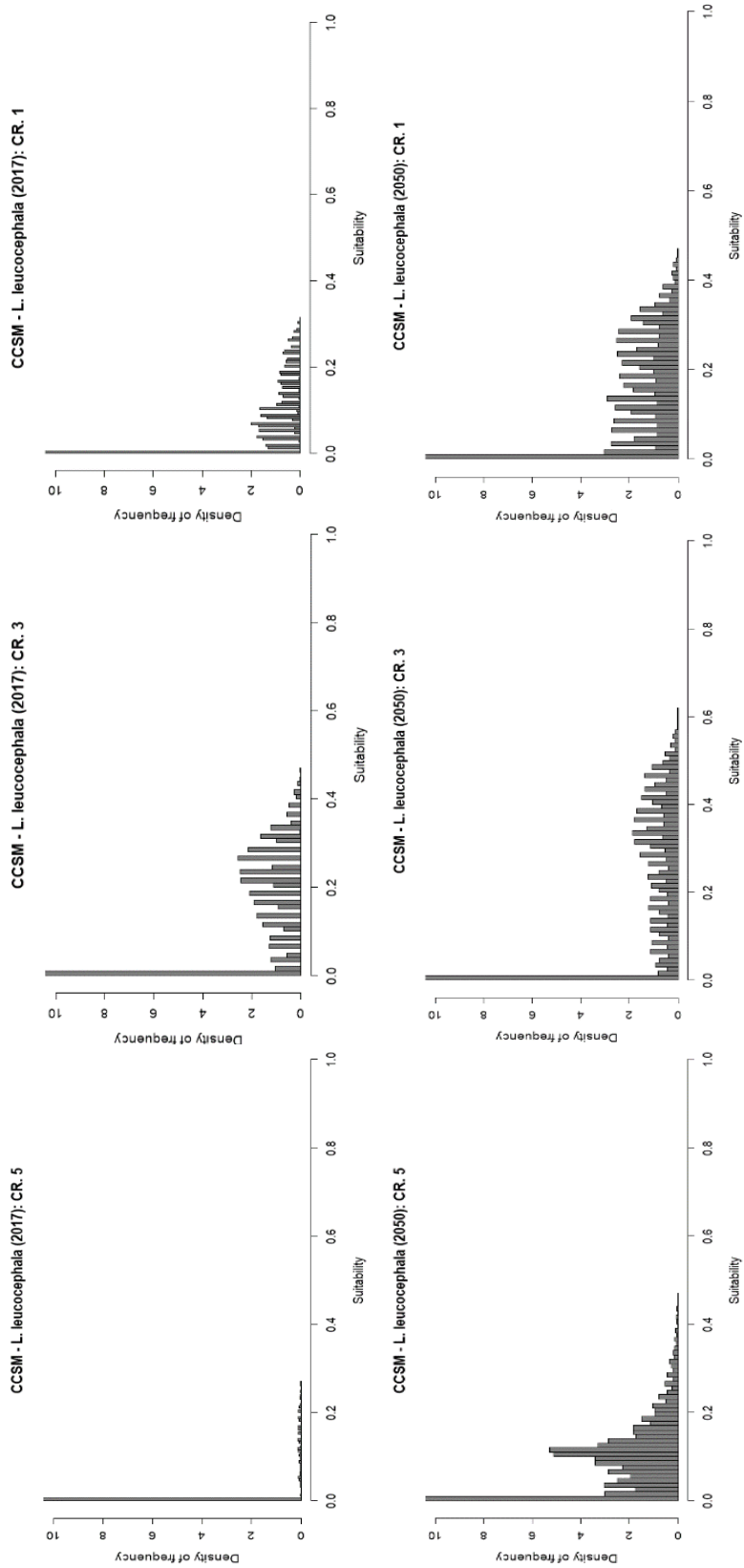
Şekil 4.8. A. altissima için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.



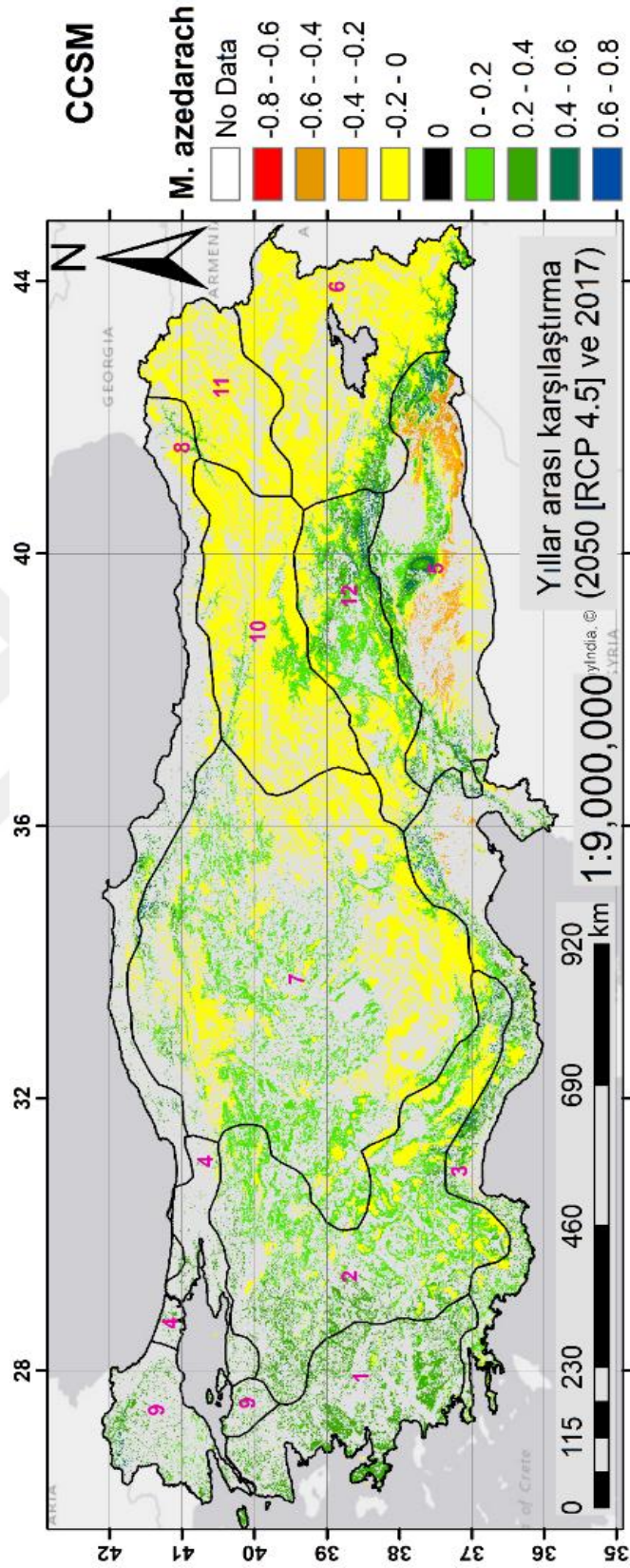
Şekil 4.9. İklim bölgesi 2’de (yarı-nemli Orta-Batı Anadolu iklimi); 10’da (yarı-nemli karasal İç Anadolu’dan Doğu Anadolu’ya geçiş iklimi) ve 6’da (yarı-nemli soğuk karasal Doğu Anadolu) 2017 ve 2050 için *A. altissima* iklimsel uygunluk histogramları.



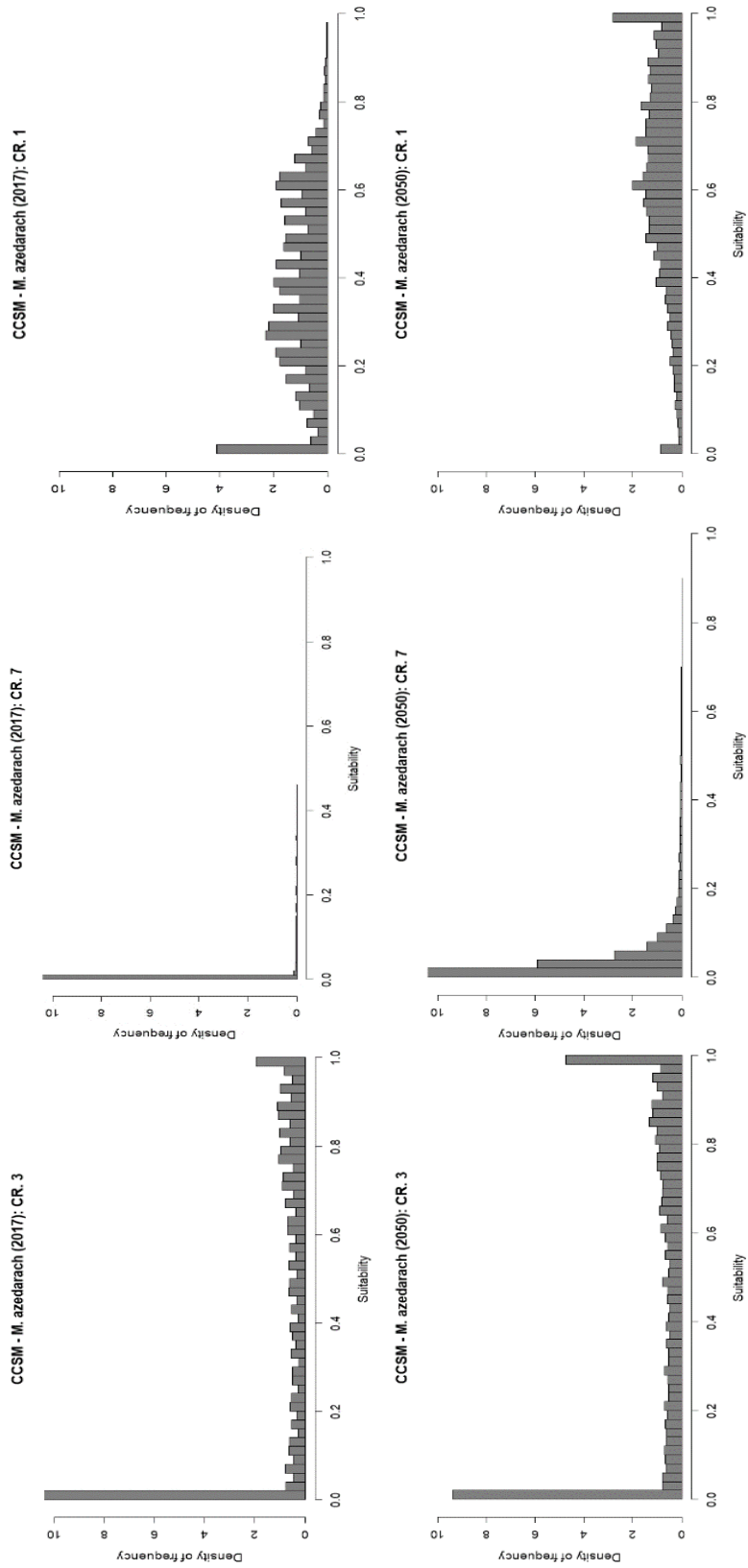
Şekil 4.10. *L. leucocephala* için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.



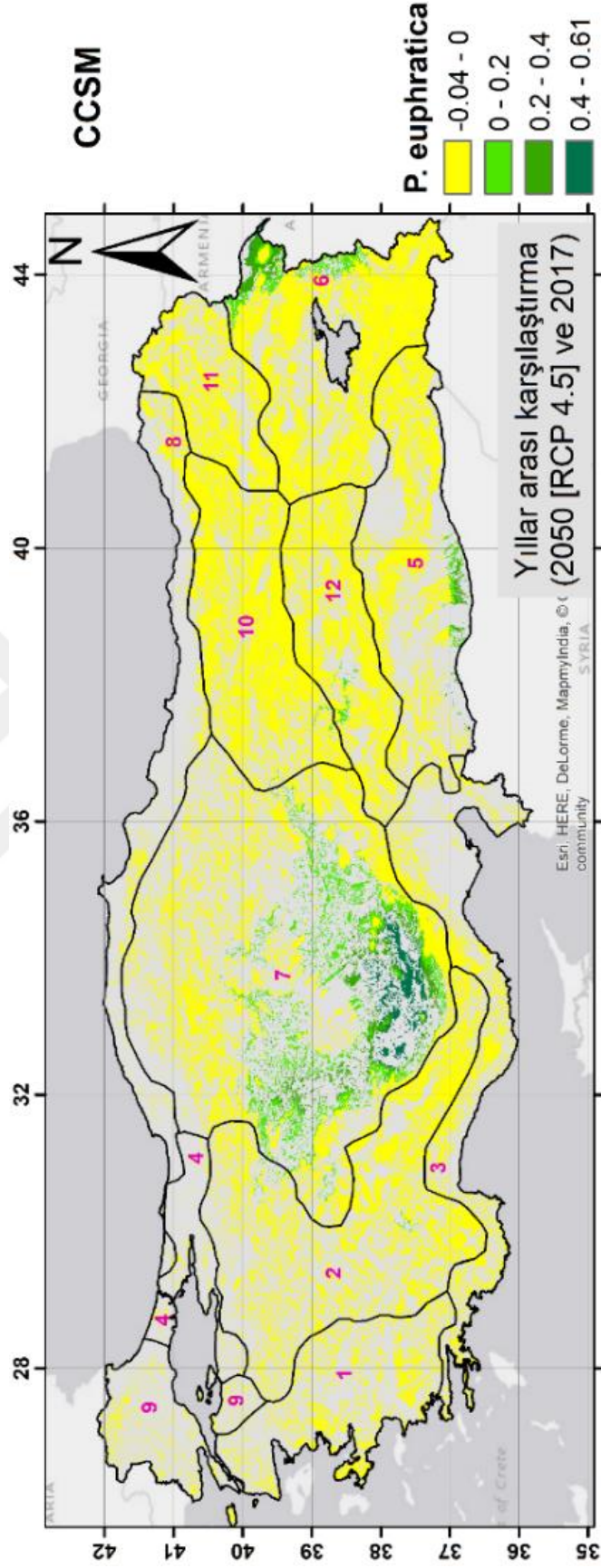
Şekil 4.11. İklim bölgesi 1’de (alttropikal yarı-nemli Ege sahili kuru yazı); 3’te (alttropikal nemli Akdeniz sahili kuru yazı) ve 5’te (alttropikal yarı-nemli/yarı-kurak karasal Akdeniz kuru yazı) 2017 ve 2050 için *L. leucocephala* iklimsel uygunluk histogramları.



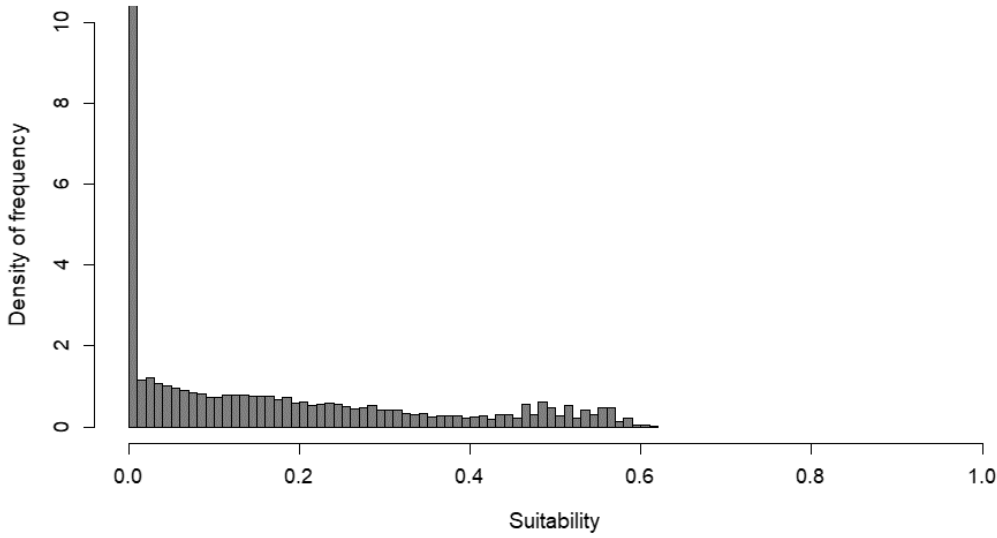
Şekil 4.12. *M. azedarach* için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.



Şekil 4.13. İklim bölgesi 1’de (alttropikal yarı-nemli Ege sahili kuru yazı); 7’de (kuru-yarınemli/yarı-kurak karasal Orta Anadolu) ve 3’te (alttropikal nemli Akdeniz sahili kuru yazı) 2017 ve 2050 için *M. azedarach* iklimsel uygunluk histogramları.



Şekil 4.14. *P. euphratica* için 2017 ve 2050 yılı arasındaki iklimsel uygunluk farkları.

CCSM - *P. euphratica* (2050): CR. 7

Şekil 4.15. İklim bölgesi 7’de (kuru-yarınemli/yarı-kurak karasal Orta Anadolu) 2050 için *P. euphratica* iklimsel uygunluk histogramı.

Elde edilen bulgularda model ağaçların mutlak/optimum sıcaklık isteklerine ait sınırlar ile mutlak/optimum yağış isteğine ait sınırlarının ülkemizin gelecek projeksiyonu altındaki iklimsel koşullarına karşı ne kadar hassas olduğu görülebilmektedir. Çıkarılan sonuca yönelik tartışmalar ilerleyen paragraflarda ağaçlar özelinde ve karşılaştırmalı olarak detaylandırılacaktır.

Şekil 4.4’te görüldüğü üzere *R. pseudoacacia* için 2050 yılında, iklimsel uygunluk, günümüze göre özellikle 10. iklim bölgesi ve 11. iklim bölgesinde 0.4 ila 0.8’lik bir artış gösterecektir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de uzun vadeli enerji ormancılığı planlamalarında iklimsel uygunluğun azaldığı yerlerin tercih edilmemesi gerekliliğidir. Bu ağaç için iklimsel uygunluğun azaldığı bölgeler ağırlıklı olarak 5. iklim bölgesi (Alttropikal Yarı-nemli/Yarı-kurak Karasal Akdeniz kuru yazı) ve 7. iklim bölgesinin (Kuru-yarınemli/Yarı-kurak karasal Orta Anadolu) güneyidir. Şekil 4.5’teki histogram sonuçlarına göre ise ağaç, 10. iklim bölgesindeki uygunluğunu HADGEM2-ES RCP 4.5 projeksiyonu bazında geliştirilen BİUM’ne göre 2050 yılında arttırmaktadır. Histogramda, 2050 yılındaki kayma bunu net bir şekilde göstermektedir. 10. iklim bölgesinde, 2017 yılında, orta uygunluk alanlarının yüksek olduğu; ancak 2050 yılında uygunluğun arttığı tespit edilmiştir. İklimsel uygunluk, 11. iklim bölgesinde “en düşük” uygunluktan “orta-uygun” sınıf aralığına kaymıştır. Frekans yoğunluğu bu bölge için %40 (“orta” sınıf aralığı içinde) ile %60 (“uygun” sınıf aralığında) arasında yoğunlaşmaktadır.

Gelecek iklim projeksiyonuna göre bu ağaç özellikle geçiş iklimlerinin bulunduğu yerlerde uygunluğunu belirgin ölçüde arttırmıştır (Şekil 4.5).

P. aculeata için iklimsel uygunluk genel olarak 1. (Alttropikal Yarı-nemli Ege sahili kuru yazı), 3. (Alttropikal nemli Akdeniz sahili kuru yazı), 5. (Alttropikal Yarı-nemli/Yarı-kurak Karasal Akdeniz Kuru Yazı) ve 12. (Yarı-nemli karasal Akdeniz'den Doğu Anadolu'ya geçiş) iklim bölgelerinde artmıştır (Şekil 4.6). Meydana gelen artış 0.2 ila 0.6 arasında değişmektedir. İç Anadolu'yu kapsayan 7. iklim bölgesinde (Kuru-yarınemli/Yarı-kurak karasal Orta Anadolu) ağacın iklimsel uygunluğu, günümüze göre -0.2'ye kadar düşmüştür. Şekil 4.7'deki histogram sonuçlarından görüleceği gibi *P. aculeata* için iklimsel uygunluk genel olarak alttropikal iklim bölgelerinde yükselmiştir. Burada gelecek iklim projeksiyonlarında alttropikal iklim bölgesinde artan sıcaklık ve kış yağış anomalilerindeki (Şekil 4.3) belirgin artış, ağacın iklimsel uygunluğunun artmasını sağlamıştır.

Aylandız ağacı olarak da bilinen *A. altissima*, *R. pseudoacacia* ile benzer iklimsel uygunluk değişikliklerine sahiptir. 2050 yılında, özellikle, 10. iklim bölgesinde (Yarı-nemli karasal İç Anadolu'dan Doğu Anadolu'ya geçiş) iklimsel uygunluğun maksimuma çıktığı alanlar bulunmaktadır (Şekil 4.8). Bu iklim bölgesinin yanı sıra 2. iklim bölgesi (Yarı-nemli Orta-Batı Anadolu İklimi) ve 6. iklim bölgesinde de (Yarı-nemli Soğuk Karasal Doğu Anadolu) iklimsel uygunluk günümüze göre 0.2 ila 0.6'lık bir artış görülmektedir. Şekil 4.9'daki histogram analizi ile meydana gelen artış, belirgin şekilde gözlenen iklim bölgeleri için verilmektedir.

R. pseudoacacia, *P. aculeata*, *A. altissima* ve *M. azedarach* ağaçlarına bakıldığında mutlak ve optimum sıcaklık isteklerine ait sınırlardaki farklar iklim projeksiyonuna yönelik gelecek koşullarına göre iklimsel uygunlukların ne kadar hassas bir şekilde değişebileceğini göstermektedir. *R. pseudoacacia* ve *A. altissima* ağaçlarının iklimsel uygunlukları özellikle karasal özellikler gösteren 10., 11. ve 6. iklim bölgelerinde yükselmiştir. Bunun yanı sıra *P. aculeata* ve *M. azedarach* ağaçları bu bölgelerdeki iklimsel uygunluklarını arttıramamıştır. Burada mutlak minimum sıcaklık isteği ve optimum minimum sıcaklık isteğine ayrı ayrı dikkat edilmelidir. *P. pseudoacacia* ile *A. altissima*'nın minimum sıcaklık isteğinin düşüklüğü (6°C), günümüzdeki iklimsel uygunluğunu karasal özellik gösteren bölgelerde azaltsa da (0'a yaklaştırsa da) ilkbahar ve sonbahar dönemi minimum

sıcaklık anomalisinden de (Şekil 4.2) görülebileceği üzere gelecek iklimsel uygunluğunu arttıracaktır. Böylece *P. pseudoacacia* ile *A. altissima*, karasal özellik gösteren bölgelerdeki iklimsel uygunluğunu 1'e yaklaştırarak arttıracaktır. *P. aculeata* ve *M. azedarach* bitkilerinin optimum minimum sıcaklık istekleri ise bu artışa karasal iklim özellikleri gösteren bölgelerde cevap veremeyecek ve iklimsel uygunluk bu ağaçlar için düşük kalacaktır. *M. azedarach* ile *R. pseudoacacia*'nın optimum minimum sıcaklık istekleri her ne kadar birine yakın gibi gözükse de aradaki fark, gelecek iklim projeksiyonu altındaki koşulların iklimsel uygunluğa ne kadar hassas bir şekilde etki edeceğini göstermektedir. Bu tartışmanın içine kış ve bahar dönemi yağış anomalileri (Şekil 4.3) de dahil edilebilir. Bu dönemlerde özellikle kuraklığın arttığı iklim bölgelerinde *R. pseudoacacia* ve *A. altissima*'nın optimum minimum yağış istekleri, bu durumu tolere edebilse de örneğin 12. iklim bölgesinin Toros geçişi (iklim bölgesinin güneybatısı) olarak adlandırılan yerinde *M. azedarach*'ın optimum minimum yağış isteğinin yeni koşullara uyum sağlayamayıp iklimsel uygunluğunu azaltacağı görülmektedir.

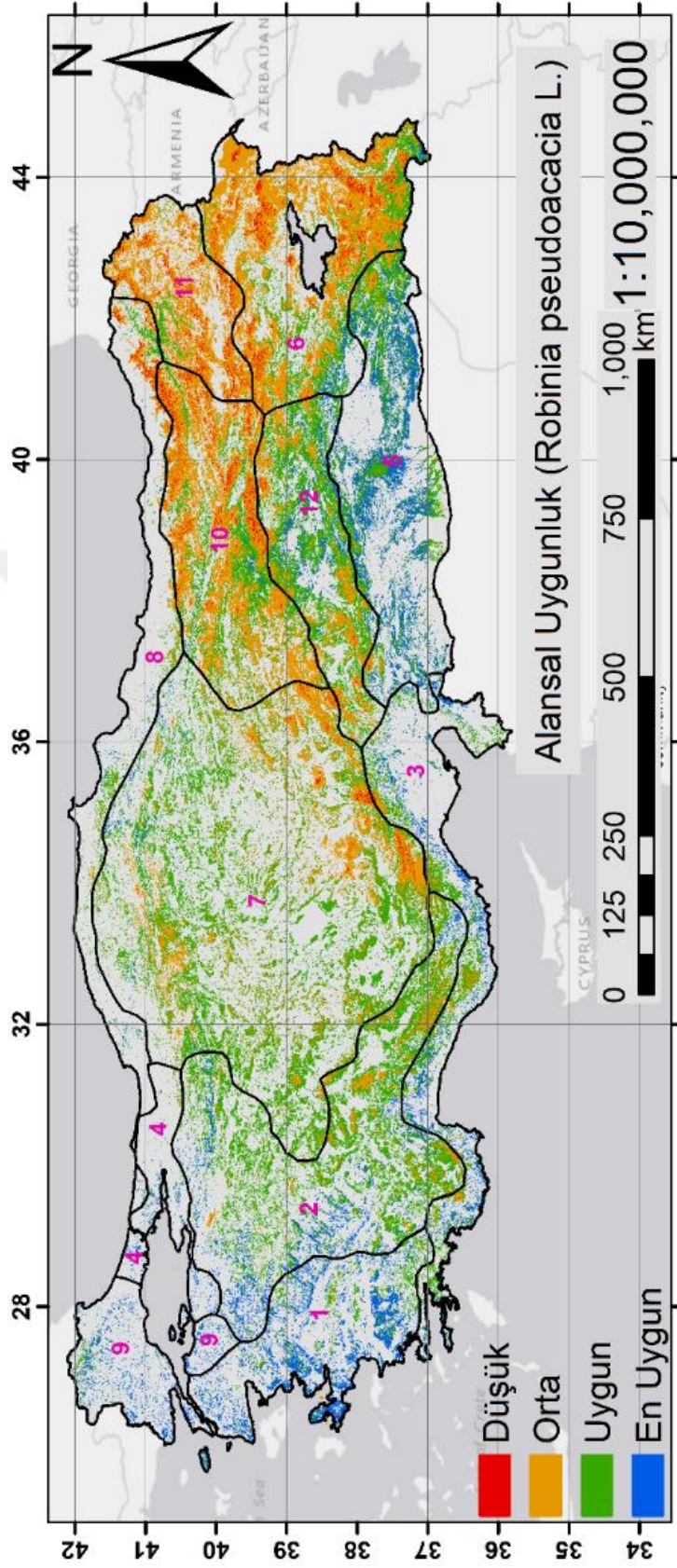
Tropikal bölgelerde yetiştiriciliği yapılan leucaena ağacının 2050 yılında ülkemizde özellikle alttropikal bölgeler olan 1., 3. ve 5. iklim bölgelerindeki iklimsel uygunluğu 0.2'ye kadar bir artış gösterecektir (Şekil 4.10). Şekil 4.11'de gösterilen histogramlarda özellikle 2017 yılında 5. iklim bölgesinde iklimsel uygunluğu çok düşük olan ağacın 2050 yılında uygunluğunu arttıracığı görülmektedir. Diğer iklim bölgeleri bu ağacın yetiştiriciliği için iklimsel uygunluğun azaldığı bölgelerdir. Ağacın iklimsel uygunluğu genel olarak alt-tropikal yarı-nemli ve nemli bölgelerde arttırmıştır. Burada tartışılabilir konulardan biri de *L. leucocephala*'nın mutlak sıcaklık isteğinin *P. euphratica* ile benzer olmasına nazaran *P. euphratica*'nın iklimsel uygunluğunu en belirgin şekilde 7. iklim bölgesi olan yarı-kurak karasal Orta Anadolu'da arttırmış olmasıdır (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15). *P. euphratica* Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin dışında alansal olarak İç Anadolu Bölgesi'nde de iklimsel uygunluğunu arttıracaktır. Iğdır ve çevresi de iklimsel uygunluğun 0.6 daha da yüksek olacağı yerlerdendir. Burada da *L. leucocephala* ve *P. euphratica*'nın optimum minimum yağış istekleri dikkati çekmektedir. *P. euphratica* model ağaçlar içerisinde yağış isteği optimum ölçekte en düşük olan ağaçtır. Bu durum, yüksek karasallık gösteren Orta Anadolu'daki bahar dönemi yağış anomalisi büyük ölçüde azalsa da bitkinin yetiştiriciliğine yönelik iklimsel uygunluğun artmasını sağlamıştır. *L. leucocephala* ise optimum minimum yağış isteği, birçok iklim bölgesine göre uygun da olsa; yağış isteğine yönelik sınırlar arasındaki büyük fark ve vejetasyon devresinin diğer model

ağaçlara göre daha uzun olması dolayısı ile sadece alt-tropikal yarı nemli ve nemli bölgelere uyum sağlayabilecektir.

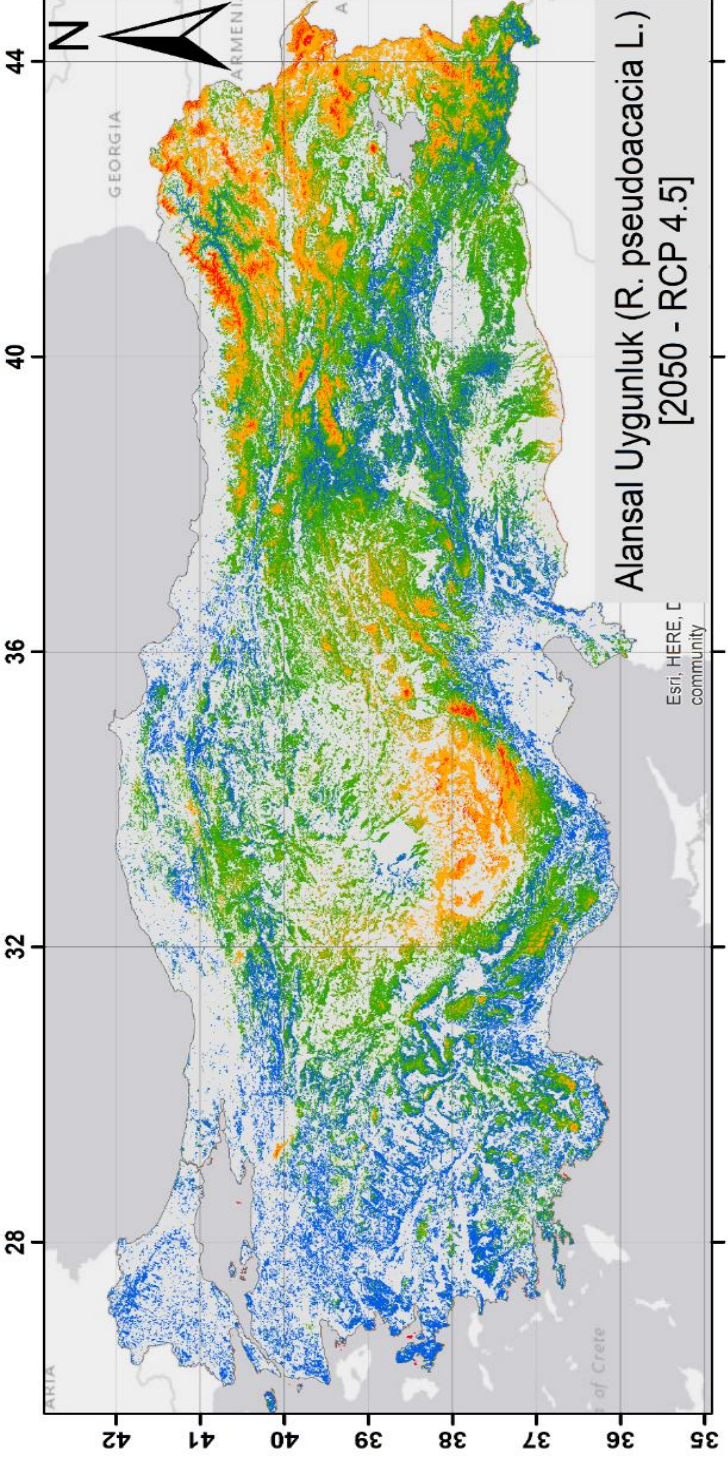
4.3 EOYTM Uygunluk Sonuçları ve Projeksiyonları (2017 – 2050 [HADGEM2-ES RCP 4.5])

Tez çalışmasında bitkiler için uygunluk haritaları Türkiye’deki 12 iklim bölgesine göre ayrı ayrı incelenmiştir. Ağaçların hangi iklim bölgesinde yetiştiriciliğe daha yatkın olduğu, yapılan alansal analizlerde görülmektedir. Yapılan alansal analizler her ağaç için Şekil 4.16 ile Şekil 4.27 arasında verilmektedir.

EOYTM, günümüz için çalıştırıldıktan ve sonuçlar elde edildikten sonra BİUM ile edilen 2050 iklimsel uygunluk projeksiyonları EOYTM’ye entegre edilerek 2050 yılı için CBS-ÇKK analizi gerçekleştirilmiştir. Geleceğe yönelik çok kriterli karar analizinde sıcaklık ve yağıştaki değişiklikler baz alınmıştır. Sıcaklık ve yağış değişiklikleri sonucu enerji ormancılığı uygulamasında kullanılabilecek ağaçların alansal yetiştirme uygunluklarının nasıl değiştiği bu başlıkta verilen alansal uygunluk haritaları ve uygunluk sınıflarının alansal değişimlerinin karşılaştırılması ile verilmiştir. Burada uygunluk haritalarındaki uygunluk sınıfları 0 ile 1 arasında olup; gösterge 4 eşit sınıfa bölünmüştür. Sınıf aralıkları (1) Düşük uygun: %0 - %25 uygunluk; (2) Orta uygun: %25 - %50 uygunluk; (3) Uygun: %50 - %75 uygunluk ve (4) En uygun: %75 - %100 uygunluk şeklindedir.



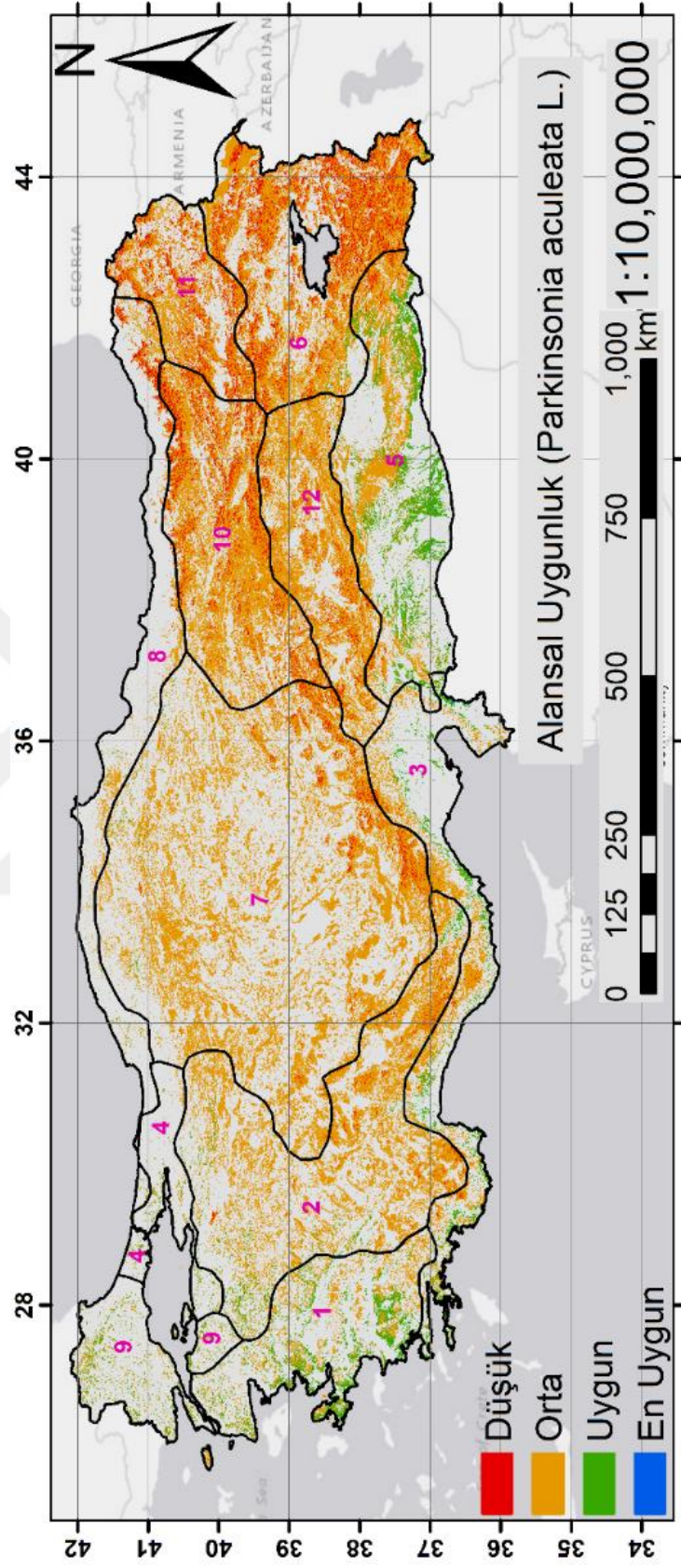
Şekil 4.16. *R. pseudoacacia* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre 2017 yılı uygunluk haritası.



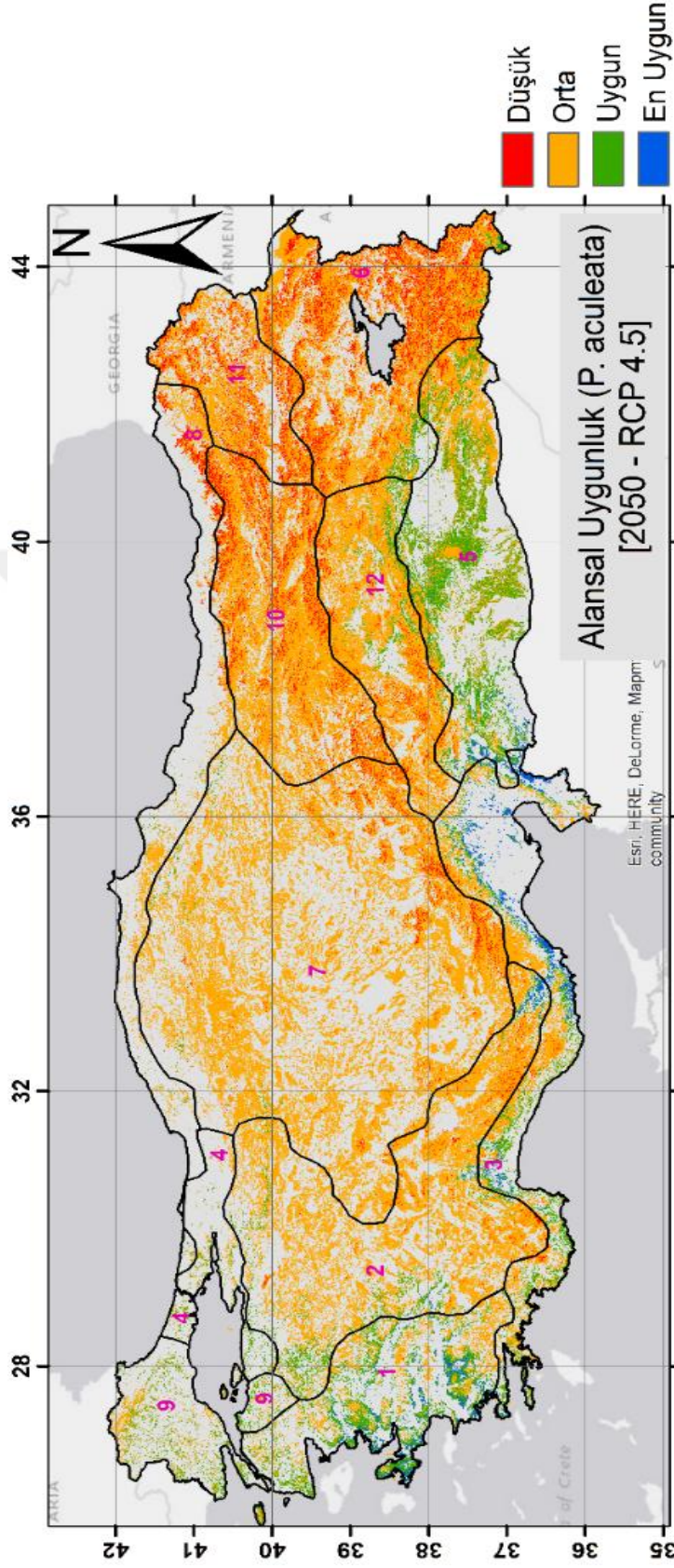
Şekil 4.17. *R. pseudoacacia* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.

Çizelge 4.1. *R. pseudoacacia*'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılımları.

İklim Bölgeleri	2017					2050 (HADGEM 2-ES RCP 4.5)				
	Alan (ha)					Alan (ha)				
	Düşük	Orta	Uygun	En Uygun		Düşük	Orta	Uygun	En Uygun	
İB 1	6	11,828	405,105	891,244		6	5,166	365,692	937,317	
İB 2	2,636	545,196	2,904,083	558,110		214	112,321	2,359,047	1,538,443	
İB 3	4,417	157,481	910,051	560,851		2,421	49,126	765,334	815,918	
İB 4	1	6,267	34,401	91,969		2	1,995	38,722	91,919	
İB 5	3,217	136,667	1,414,797	1,222,429		270	96,103	2,199,595	481,142	
İB 6	280,695	3,304,908	1,058,477	85,965		28,261	1,764,500	2,684,232	253,052	
İB 7	60,092	2,349,659	4,480,579	72,449		18,858	1,765,188	4,528,769	649,963	
İB 8	49,628	276,482	261,852	40,476		18,870	179,732	299,382	130,454	
İB 9	3	2,120	73,323	288,441		3	4,215	39,912	319,757	
İB 10	234,909	2,716,307	1,089,092	23,605		27,813	985,919	2,825,220	224,960	
İB 11	183,327	1,463,729	127,746	406		21,311	1,075,913	659,837	18,147	
İB 12	15,195	768,776	1,651,515	257,541		29	90,424	1,891,875	710,700	



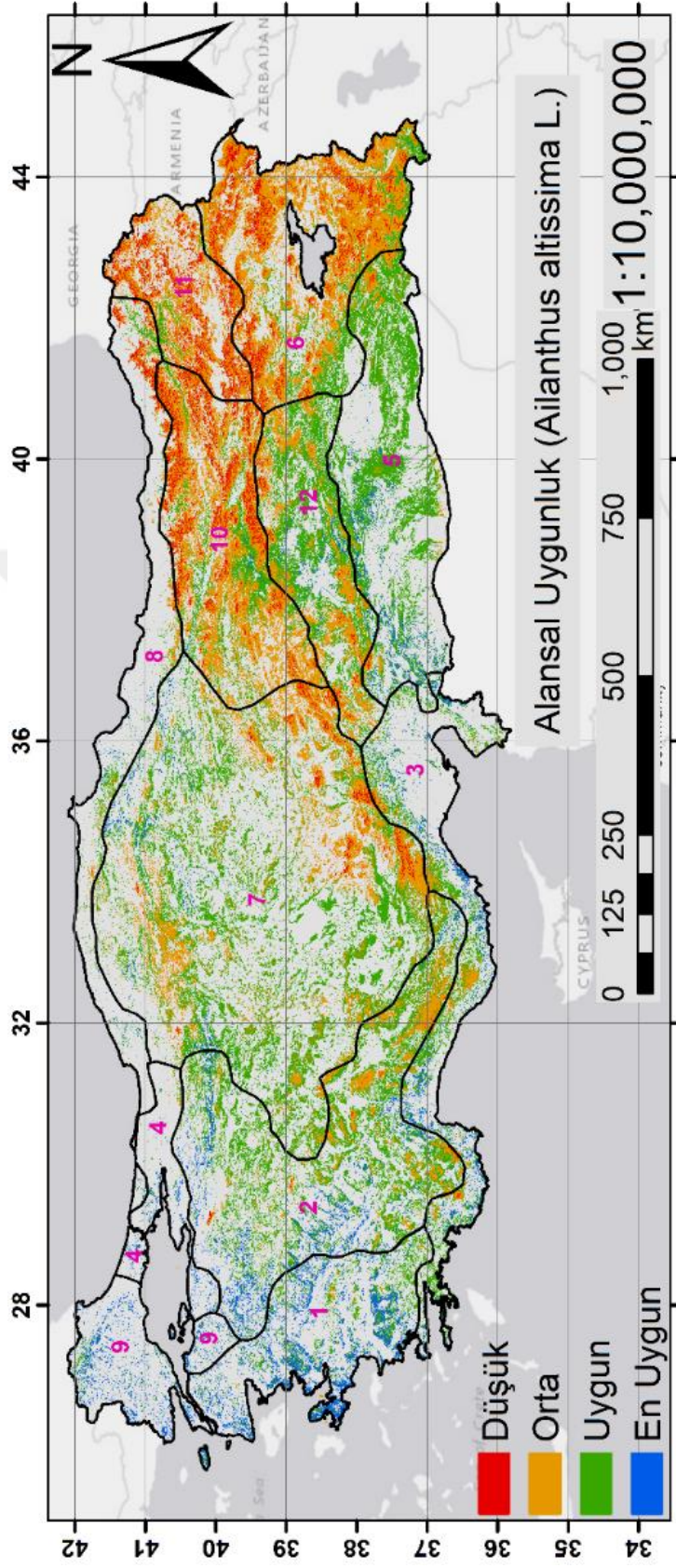
Şekil 4.18. *P. aculeata* bitkisine ait 2017 uygunluk haritası.



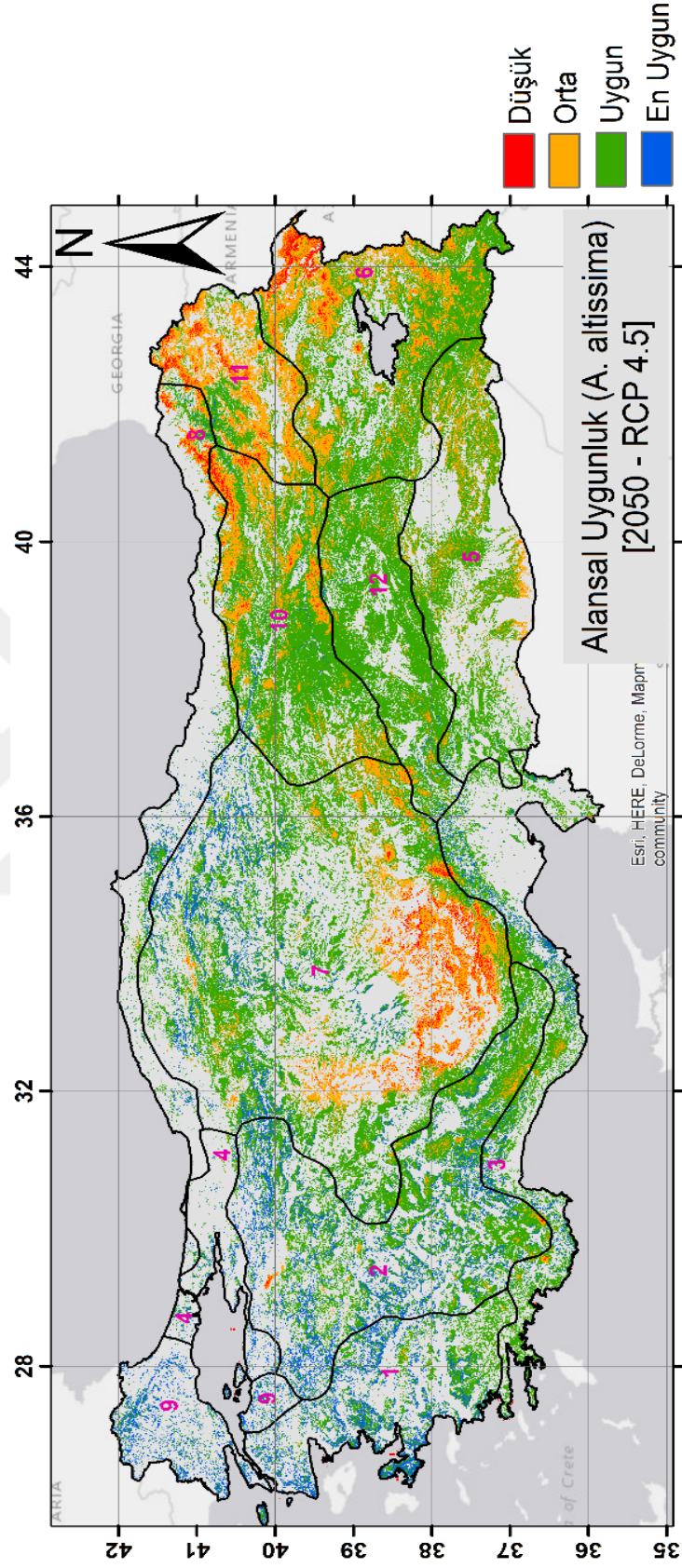
Şekil 4.19. *P. aculeata* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.

Çizelge 4.2. *P. aculeata*'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılımları.

İklim Bölgeleri	2017					2050 (HADGEM 2-ES RCP 4.5)				
	Alan (ha)					Alan (ha)				
	Düşük	Orta	Uygun	En Uygun		Düşük	Orta	Uygun	En Uygun	
İB 1	1,190	748,728	557,783	480		1,169	451,643	815,297	40,074	
İB 2	96,108	3,732,725	181,191	0		95,199	3,488,326	413,185	13,314	
İB 3	28,763	1,127,966	468,182	7,888		28,173	867,570	633,691	103,365	
İB 4	69	83,197	49,372	0		69	57,820	74,749	0	
İB 5	65,882	1,739,644	971,195	390		42,056	1,175,961	1,546,497	12,597	
İB 6	1,031,349	3,670,485	28,211	0		1,017,233	3,541,066	171,697	50	
İB 7	260,407	6,672,839	29,533	0		260,323	6,617,875	84,570	11	
İB 8	106,683	497,751	24,003	0		106,683	488,041	33,713	0	
İB 9	0	205,561	158,327	0		0	135,562	228,325	0	
İB 10	626,407	3,437,354	152	0		625,150	3,434,080	4,683	0	
İB 11	388,953	1,386,173	82	0		388,953	1,386,066	189	0	
İB 12	208,252	2,480,227	4,548	0		166,203	2,244,407	282,417	0	



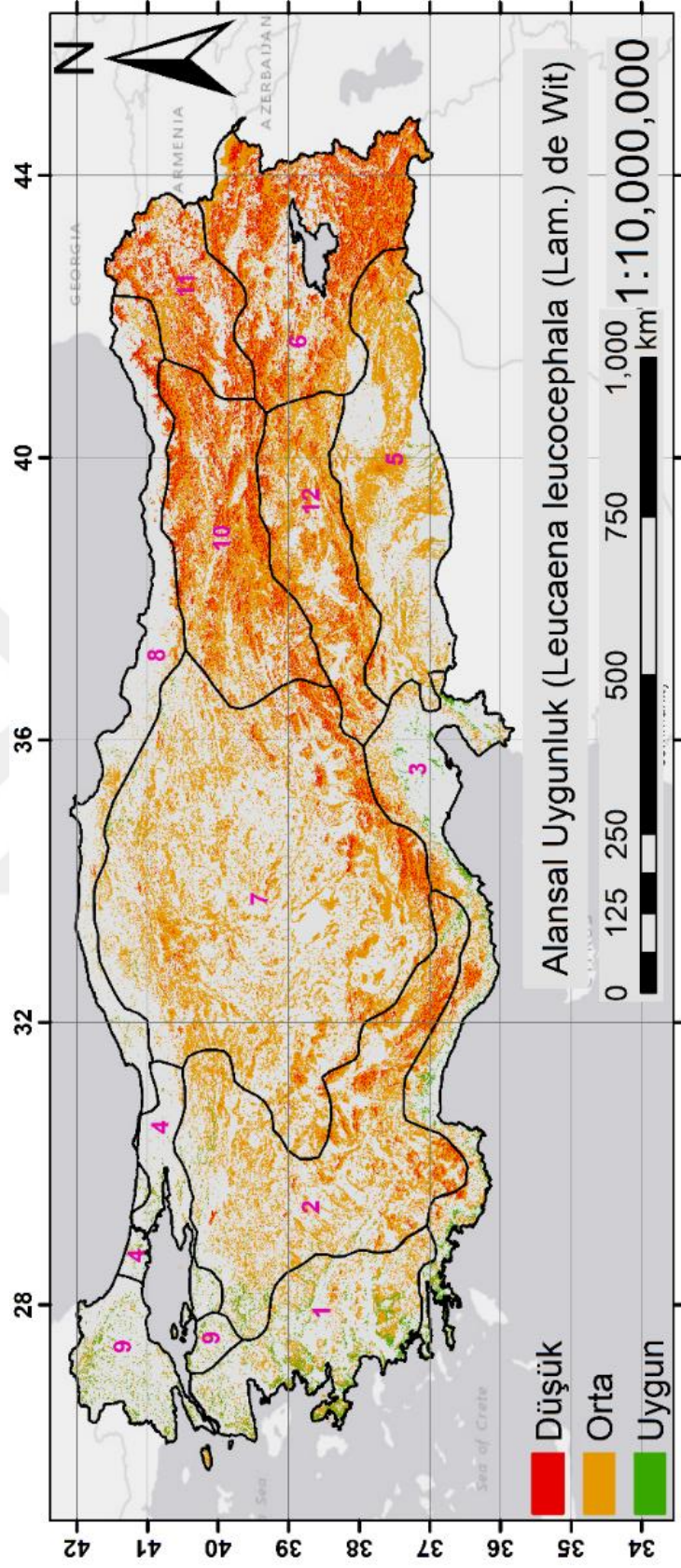
Şekil 4.20. *A. altissima* bitkisine ait 2017 uygunluk haritası.



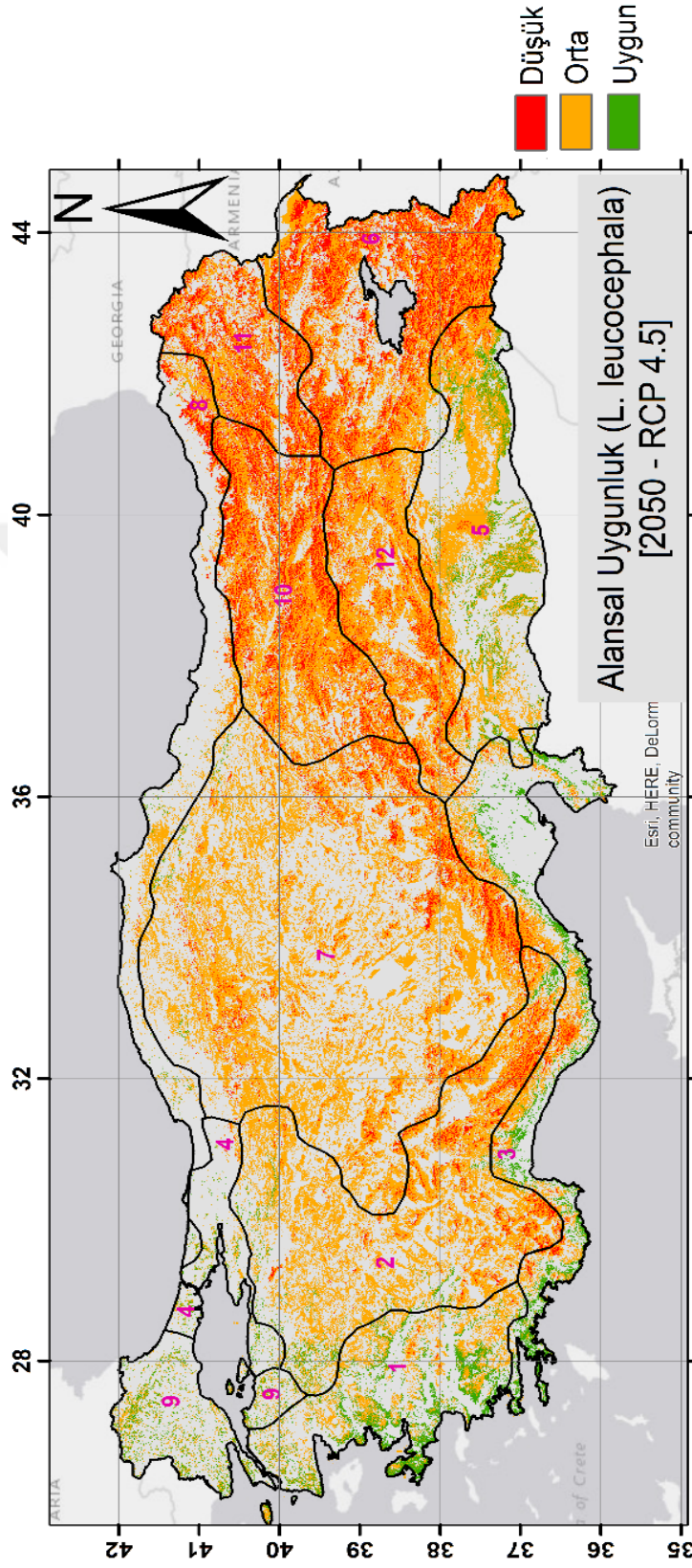
Şekil 4.21. *A. altissima* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.

Çizelge 4.3. A. *altissima*'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılımları.

İklim Bölgeleri	2017					2050 (HADGEM 2-ES RCP 4.5)				
	Alan (ha)					Alan (ha)				
	Düşük	Orta	Uygun	En Uygun		Düşük	Orta	Uygun	En Uygun	
İB 1	22	25,591	576,989	705,580		7	16,160	727,398	564,616	
İB 2	15,181	888,502	2,598,563	507,779		3,312	239,326	2,690,785	1,076,602	
İB 3	7,886	260,569	976,241	388,103		3,095	102,675	1,219,018	308,010	
İB 4	7	9,396	43,048	80,188		3	3,589	59,110	69,937	
İB 5	9,897	276,753	2,238,712	251,749		628	831,983	1,931,720	12,779	
İB 6	657,666	3,360,597	709,118	2,661		102,092	2,171,255	2,454,814	1,882	
İB 7	176,973	2,637,247	4,014,199	134,360		167,449	2,174,215	3,849,016	772,099	
İB 8	103,834	267,160	219,805	37,638		36,449	206,375	297,275	88,339	
İB 9	4	2,116	82,723	279,044		4	4,155	94,017	265,712	
İB 10	635,630	2,716,892	696,169	15,219		44,576	1,365,815	2,590,907	62,616	
İB 11	506,328	1,190,278	78,409	192		68,938	1,281,330	416,335	8,604	
İB 12	61,627	1,017,748	1,532,350	81,302		229	288,348	2,361,751	42,699	



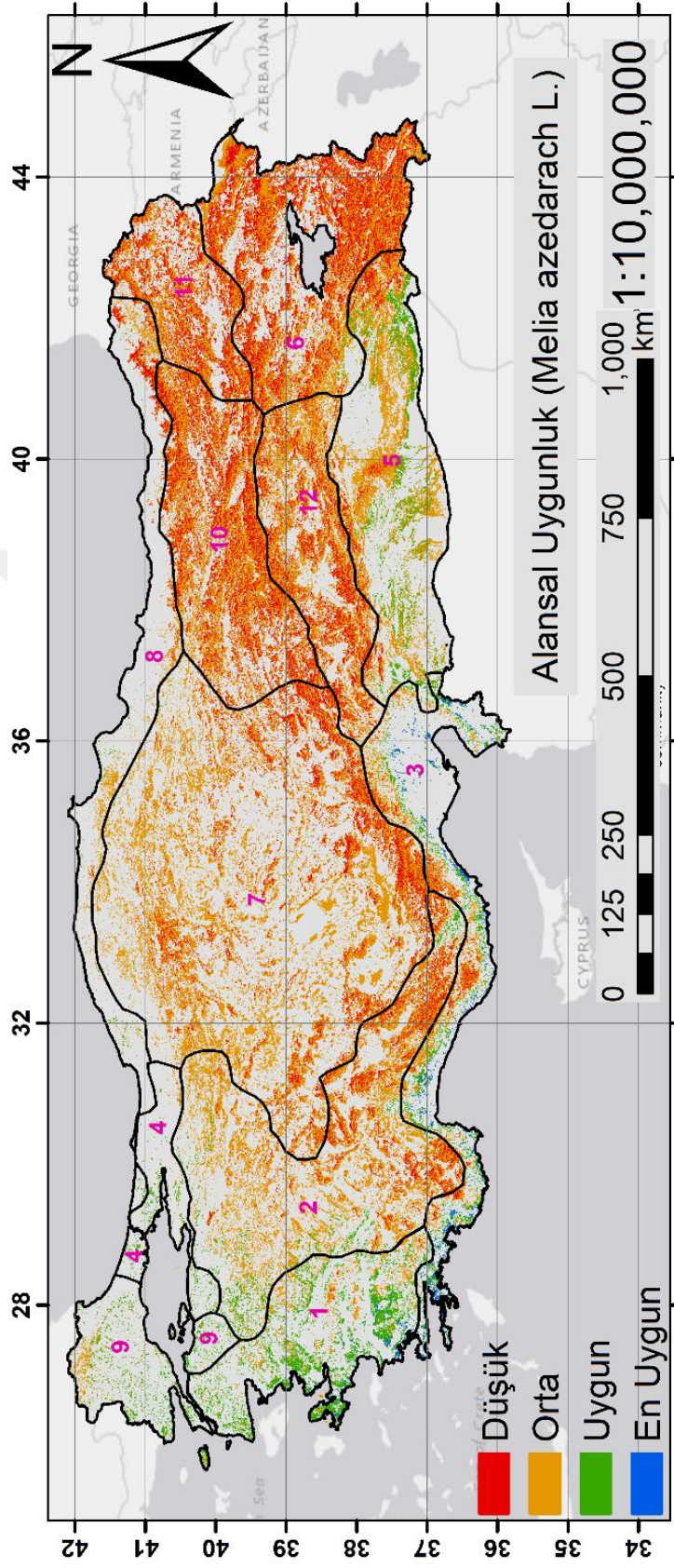
Şekil 4.22. *L. leucocephala* bitkisine ait 2017 uygunluk haritası.



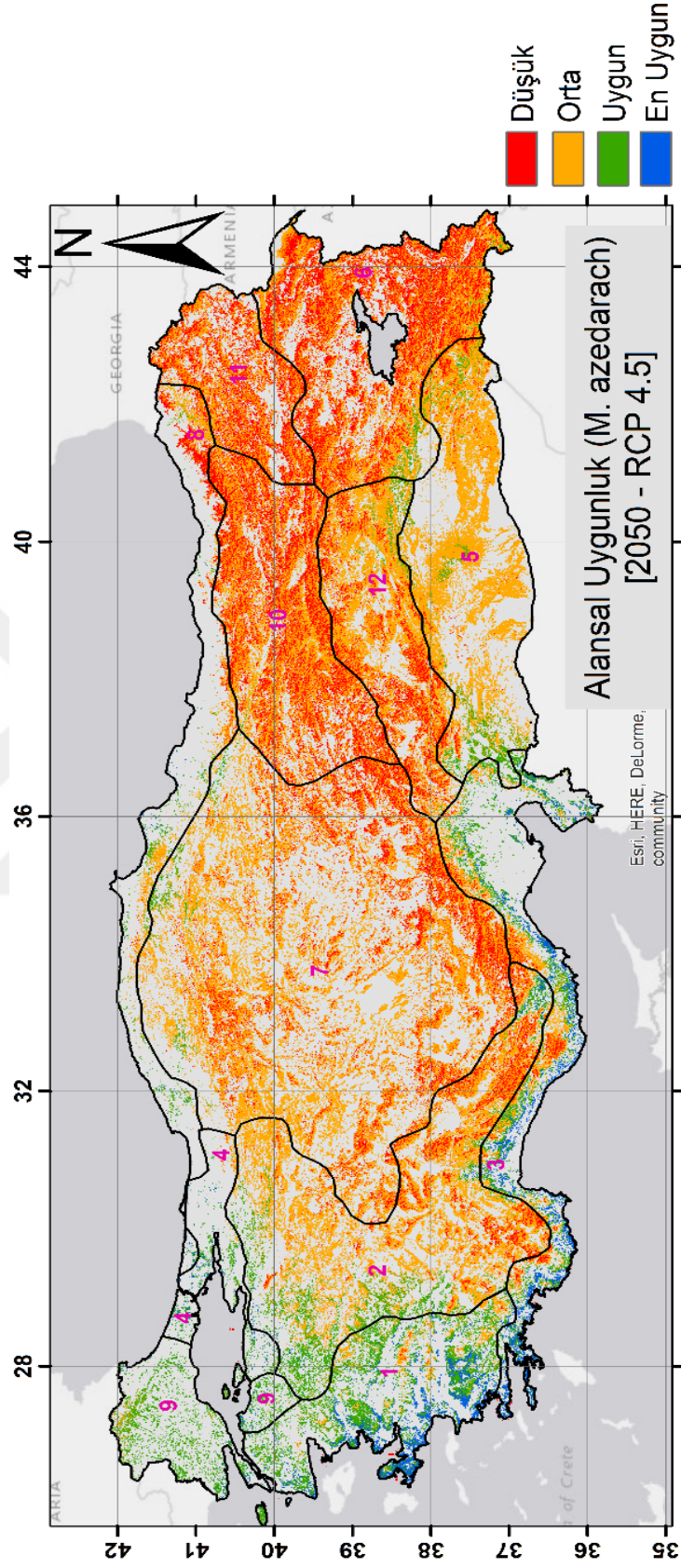
Şekil 4.23. *L. leucocephala* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.

Çizelge 4.4. *L. leucocephala*'nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılımları.

İklim Bölgeleri	2017					2050 (HADGEM 2-ES RCP 4.5)				
	Alan (ha)					Alan (ha)				
	Düşük	Orta	Uygun	En Uygun		Düşük	Orta	Uygun	En Uygun	
İB 1	6,008	945,591	356,583	0		5,798	739,097	563,287	0	
İB 2	346,109	3,551,118	112,798	0		345,924	3,520,786	143,315	0	
İB 3	108,204	1,143,952	380,643	0		107,990	984,141	537,177	3,491	
İB 4	854	82,298	49,486	0		843	80,960	50,836	0	
İB 5	136,012	2,588,925	52,172	0		124,718	2,207,009	445,383	0	
İB 6	1,518,514	3,211,309	189	0		1,518,107	3,206,924	4,981	0	
İB 7	590,906	6,348,761	23,112	0		590,805	6,346,914	25,060	0	
İB 8	137,560	469,109	21,769	0		137,482	467,935	23,020	0	
İB 9	106	202,007	161,775	0		98	196,817	166,973	0	
İB 10	1,067,249	2,996,571	90	0		1,067,249	2,996,571	90	0	
İB 11	576,215	1,198,986	6	0		576,215	1,198,986	6	0	
İB 12	439,580	2,253,444	4	0		439,536	2,253,426	65	0	



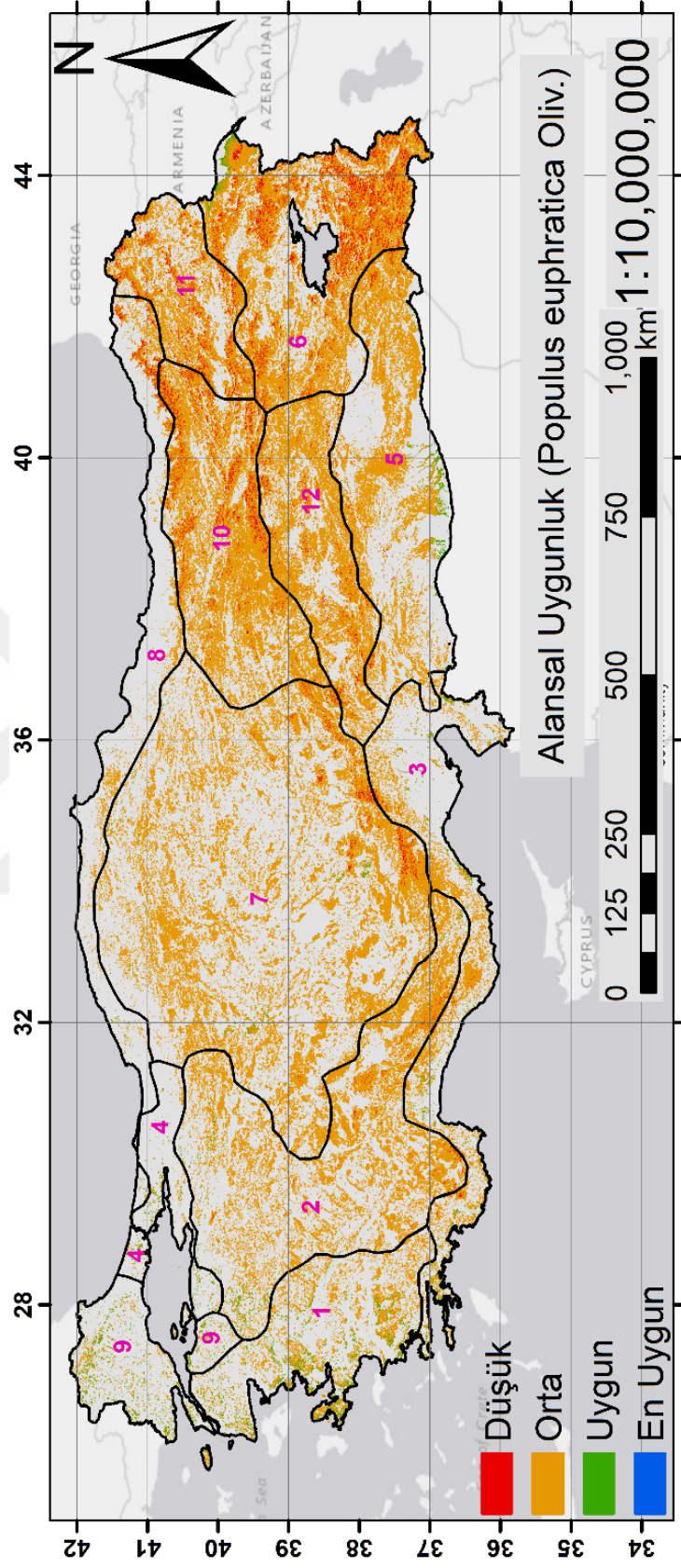
Şekil 4.24. *M. azedarach* bitkisine ait 2017 uygunluk haritası.



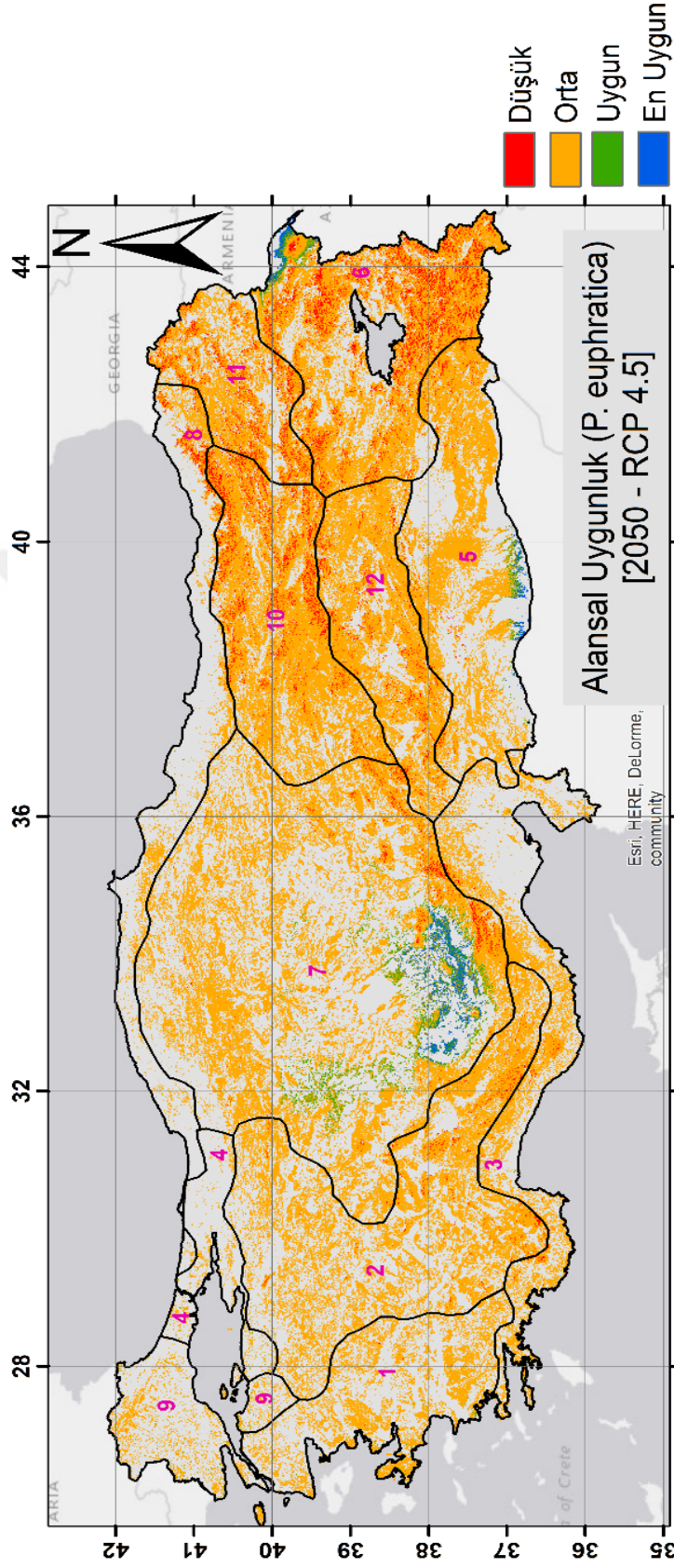
Şekil 4.25. *M. azedarach* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.

Çizelge 4.5. *M. azedarach*'ın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılımları.

İklim Bölgeleri	2017					2050 (HADGEM 2-ES RCP 4.5)				
	Alan (ha)					Alan (ha)				
	Düşük	Orta	Uygun	En Uygun		Düşük	Orta	Uygun	En Uygun	
İB 1	8,041	375,319	850,403	74,419		4,713	152,467	792,262	358,740	
İB 2	647,590	3,098,196	264,208	30		492,821	2,869,154	626,198	21,852	
İB 3	149,751	722,179	482,606	278,264		110,871	561,698	592,513	367,717	
İB 4	1,286	38,536	92,817	0		1,221	20,344	83,307	27,766	
İB 5	237,515	1,975,689	563,905	1		114,012	2,292,877	369,632	588	
İB 6	1,934,398	2,776,472	19,137	0		1,851,334	2,777,176	101,501	0	
İB 7	1,400,415	5,556,579	5,784	0		1,311,924	5,541,301	109,365	189	
İB 8	157,509	428,428	42,501	0		154,773	372,217	89,819	11,629	
İB 9	33	125,653	238,197	4		4	17,874	325,056	20,953	
İB 10	1,517,031	2,546,864	15	0		1,481,963	2,576,287	5,660	0	
İB 11	705,913	1,069,294	0	0		703,836	1,070,874	497	0	
İB 12	810,508	1,882,426	93	0		593,724	1,986,170	113,134	0	



Şekil 4.26. *P. euphratica* bitkisine ait 2017 uygunluk haritası.



Şekil 4.27. *P. euphratica* yetiştiriciliğinin iklim bölgelerine göre uygunluk sınıflarına ait 2050 projeksiyonu.

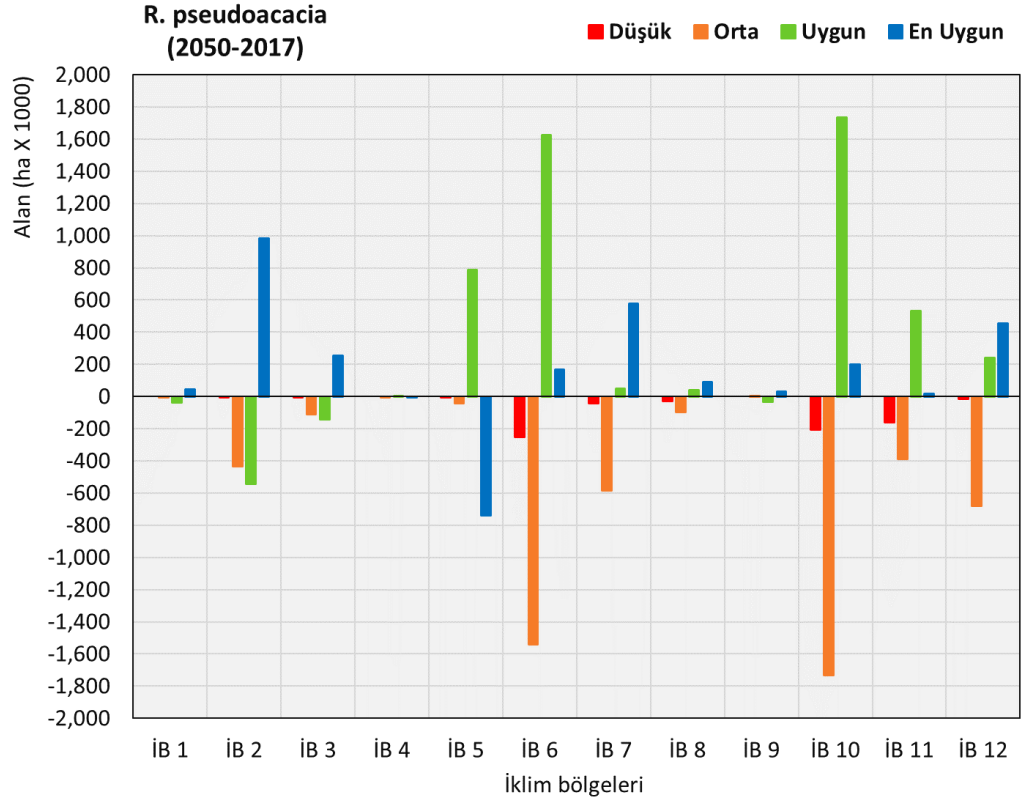
Çizelge 4.6. *P. euphratica*’nın uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 yıllarına göre alansal dağılımları.

İklim Bölgeleri	2017					2050 (HADGEM 2-ES RCP 4.5)				
	Alan (ha)					Alan (ha)				
	Düşük	Orta	Uygun	En Uygun		Düşük	Orta	Uygun	En Uygun	
İB 1	441	1,113,941	193,800	0		441	1,113,941	193,800	0	
İB 2	47,544	3,909,741	52,739	0		47,531	3,909,329	53,165	0	
İB 3	17,094	1,506,226	109,479	0		17,094	1,506,226	109,479	0	
İB 4	27	97,818	34,793	0		27	97,818	34,793	0	
İB 5	39,945	2,663,306	72,976	883		39,904	2,617,940	114,496	4,770	
İB 6	582,174	4,104,469	43,401	0		577,076	4,017,195	131,924	3,851	
İB 7	111,409	6,819,731	31,639	0		105,164	5,977,112	231,924	648,579	
İB 8	50,346	565,497	12,594	0		50,346	565,497	12,594	0	
İB 9	73	248,907	114,907	0		73	248,907	114,907	0	
İB 10	285,623	3,778,278	12	0		285,609	3,778,292	12	0	
İB 11	172,213	1,602,994	1	0		172,210	1,602,997	1	0	
İB 12	94,907	2,598,119	1	0		94,572	2,597,288	1,166	0	

EOYTM, sonuçları itibarı ile hem karbon yutaklarının arttırılması hem de fosil yakıtların azaltılması işlemlerine çok amaçlı olarak katkı sağlayabilecek enerji ormancılığının, ülkemiz için günümüzdeki alansal potansiyelini ve gelecekte bu potansiyelin nasıl değişeceğini ortaya koymaktadır.

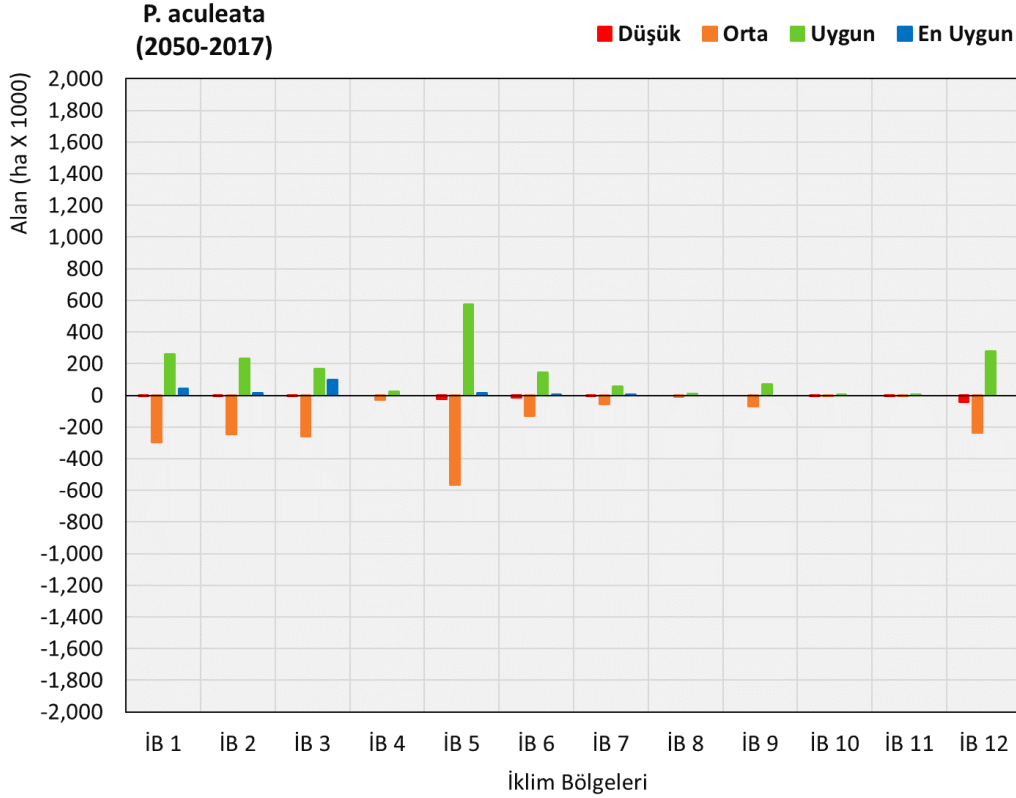
Bu değişiklikler altında ülkemizin bazı bölgelerinde yetiştiricilik yapılacak alanlar daralacaktır. Bu durum, o bölge için model ağacın enerji katkısı ve karbon yutak potansiyeli kabiliyetini azaltacaktır. Yapılan tez çalışması, gelecekte yetiştiricilik yapılacak alanların, 2050 yılı için halen ideal iklim koşulu olarak görülen bir iklim projeksiyonu altında değişmesi durumunda devlet planlamalarının ya da özel iştiraklerin nasıl bir yol izleyebileceğini gösterecek nitelikte rehberlik sunmaktadır. Sonuçlar, ağaçlar özelinde değişim analizleri ışığında tartışılacaktır.

R. pseudoacacia ağacı alansal uygunluğunu gelecek projeksiyonlarına göre geniş ölçekte arttıracak olan ağaçlardan biridir ve özellikle 2. iklim bölgesindeki uygunluk artışı dikkat çekicidir (Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Çizelge 4.1) Burada uygunluk “orta” ve “uygun” sınıflarından, gelecekte, tamamen “en uygun” sınıfına kaymaktadır. Günümüzden itibaren başlayan ağaç yetiştiriciliği ve enerji ormancılığı uygulamaları eğer “uygun” sınıfına sahip yerlerde başlarsa bu iklim bölgesindeki uygulamalar alansal olarak herhangi bir kayıp yaşamayacaktır. Bu durum, 2. iklim bölgesindeki uygulama alanlarının günümüzden itibaren uzun vadeli planlamalara alınması gerektiğini göstermektedir. Bu alanlar gerekirse özel ormancılık uygulama alanları olarak niteliklendirilmeli, tahsis ve korunmasına yönelik gerekli stratejiler geliştirilmelidir. 2. iklim bölgesinin yanı sıra 6. ve 10. iklim bölgeleri de gelecekteki enerji ormancılığı açısından önem kazanacaktır. Günümüzde, yetiştiricilik kapsamına alınmasa da (orta uygunluk sınıfı nedeni ile) gelecekte, bu bölgelerdeki uygun alanların ormancılığa tahsisine yönelik niyet beyanları oluşturulmalıdır. 5. iklim bölgesi ise enerji ormancılığı kabiliyeti açısından uygunluğun “en uygun” sınıftan “uygun” sınıfa kayarak azaldığı bir yer olmuştur. Şekil 4.28’de *R. pseudoacacia* için günümüz ve 2050 yılı için uygunluk sınıflarının değişimi ortaya konmaktadır.



Şekil 4.28. *R. pseudoacacia* yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.

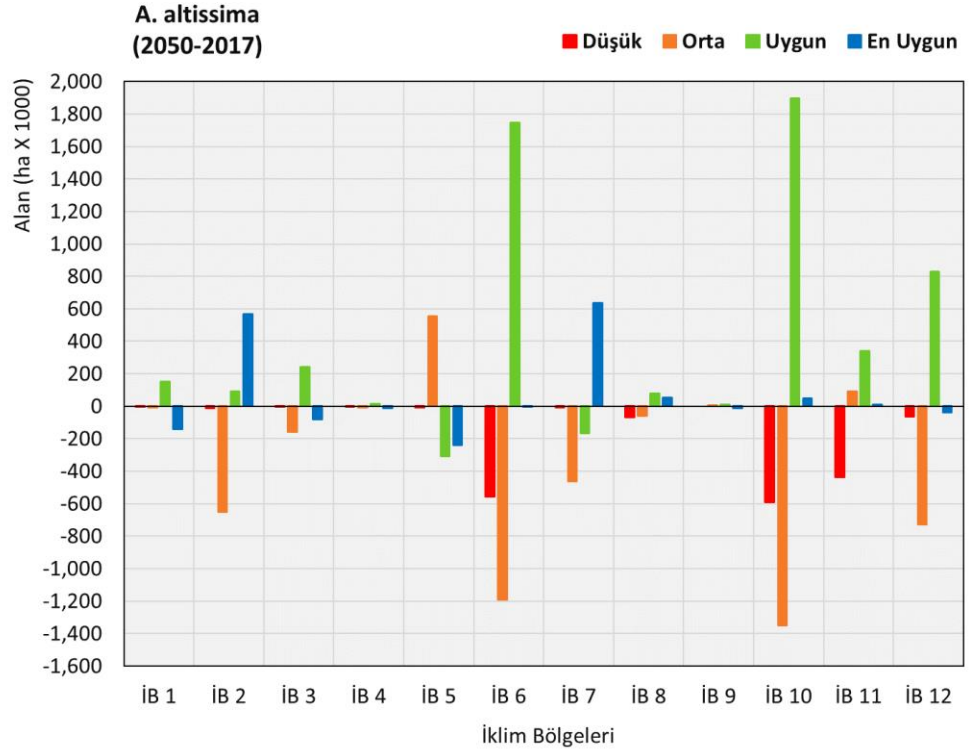
Parkinsonia aculeata için verilen alansal uygunluk haritalarında (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19) ise ülke genelinde yetiştiriciliğin “orta” uygunlukta olduğu bölgeler gelecekte “uygun” sınıfına geçecektir. Bu alansal değişimler *R. pseudoacacia* kadar çarpıcı olmamak ile birlikte özellikle 1., ve 3. iklim bölgeleri için şimdiden yetiştiricilik yapılmaya başlanabilir (Çizelge 4.2). Günümüzde bu yerlerdeki “en uygun” sınıfının alansal uygunluğu, 2050’de genişleyecektir. Aynı durum 5. iklim bölgesi için de geçerlidir. 2. iklim bölgesi ise “en uygun” sınıfının 2050 yılında görüleceği bir bölgedir ve bu bölge için geleceğe yönelik strateji planlamalarının yapılması daha uygun olacaktır. Diğer iklim bölgeleri özellikle “en uygun” sınıfı göz önüne alındığında, günümüz uygunluğunun olmadığı ve gelecekte de bu durumun değişmediği yerlerdir. 1., 3. ve 5. iklim bölgeleri için günümüzden itibaren ormancılık alanı tahsisi yapılabilir ve enerji ormanı uygulamalarına başlanabilir. Şekil 4.29’da gelecek periyodu ve günümüz periyodu arasında *P. aculeata* için alansal uygunluğun değişimi verilmektedir.



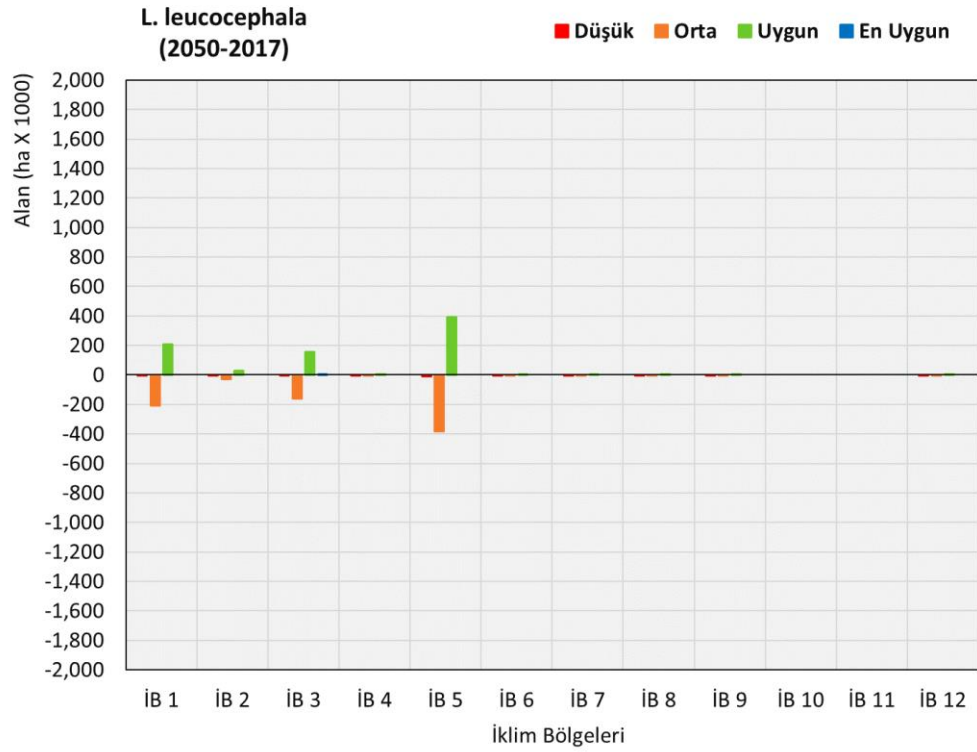
Şekil 4.29. *P. aculeata* yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.

Ailanthus altissima “en uygun” sınıfı olarak bakıldığında uygunluğunu dikkate değer bir şekilde 2., 7., 8., 10. ve 11. iklim bölgelerinde yükseltmiştir (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21). Bitkinin, özellikle, 2. iklim bölgesindeki alansal uygunluğu 2 katına; 7. iklim bölgesindeki uygunluğu ise 5 katına çıkmıştır. 6., 10. ve 12. iklim bölgeleri ise 2050 sonrası planlamaları için düşünülebilecek enerji ormancılığı uygulama alanlarına sahiptir (Çizelge 4.3). Düşük ve orta uygunluk, bu üç iklim bölgesinde uygun sınıfına yükselmiş ve geleceğe yönelik önemli bir katkı oluşturmuştur. Şekil 4.30’da *A. altissima*’ya ait alansal değişim gösterilmektedir.

L. leucocephala için ise “en uygun” sınıfı, günümüz alansal uygunluğunda bulunmamaktadır (Şekil 4.22). Bu ağaç 2050 yılı için sadece 3. iklim bölgesi olan yarı-nemli, nemli Akdeniz bölgesinde yetiştirilebilecektir (Şekil 4.23 ve Çizelge 4.4). Ağacın 2050’den itibaren yetiştiriciliğinin yapılabileceği bölgeler ise 1. ve 5. iklim bölgeleridir. Şekil 4.31’de ise *L. leucocephala*’ya ait alansal değişim grafiği ortaya konmaktadır.

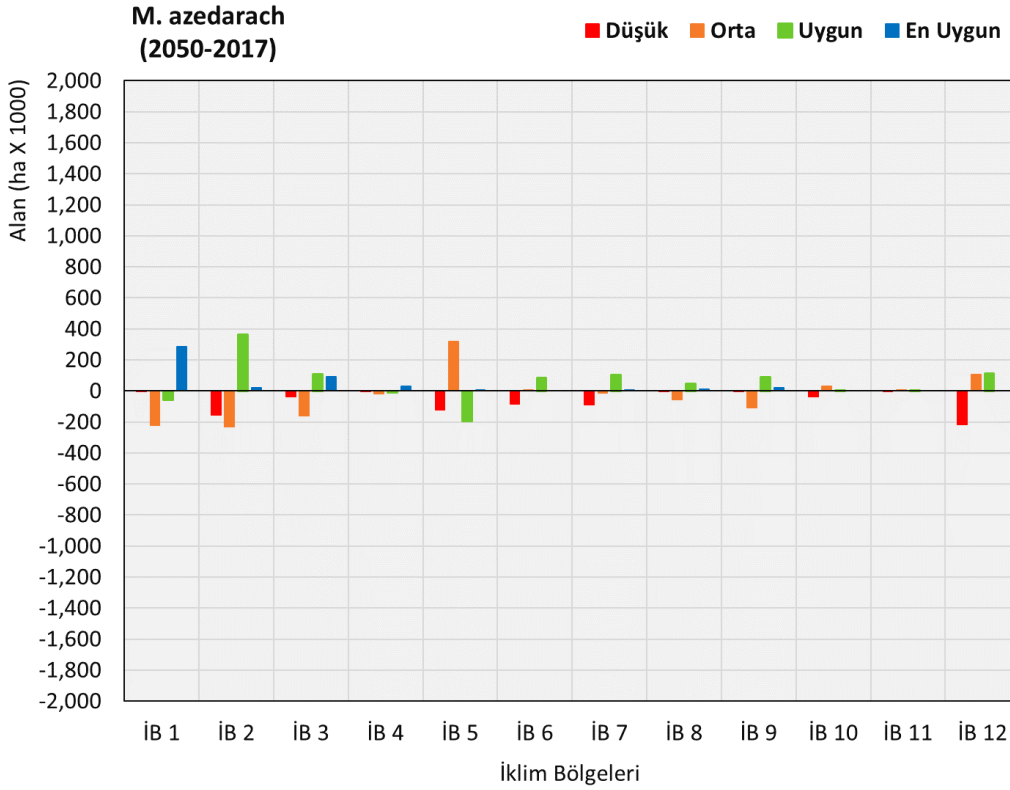


Şekil 4.30. *A. altissima* yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.



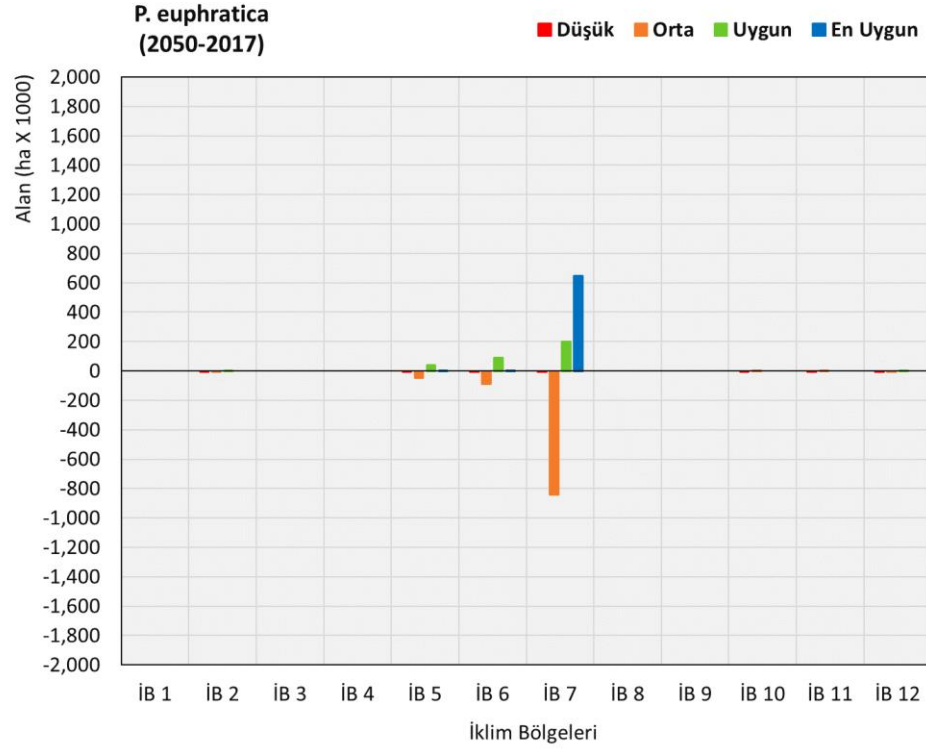
Şekil 4.31. *L. leucocephala* yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.

M. azedarach, 1. ve 3. iklim bölgelerinde alansal uygunluğunu 2050 yılında genişletecektir. Bu bölgeler, bu ağaç özelinde için enerji ormancılığı potansiyelini gelecekte de koruyacaktır. 2. iklim bölgesinde, alansal uygunluk yaklaşık 30 ha'dan 22 bin ha'ya kadar genişlemiştir. Günümüzde alansal uygunluğun “en uygun” sınıfta bulunmadığı 4., 7. ve 8. iklim bölgeleri ise 2050 yılından itibaren planlamalara dahil edilebilecek niteliğe kavuşacaktır. Şekil 4.32’de *M. azedarach* için alansal uygunluk değişimi grafiği verilmektedir.



Şekil 4.32. *M.azedarach* yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.

P. euphratica içinse “en uygun” sınıfına ait alanlar günümüzde sadece 5. iklim bölgesinde bulunurken (883 ha); gelecekte 5., 6. ve 7. iklim bölgelerinde görülecektir. Özellikle 7. iklim bölgesi, 2050 yılı ve sonrası için *P. euphratica*’nın yetiştirilmesi için çok büyük bir fırsata sahiptir. Enerji ormancılığı uygulamaları için bu alana bakıldığında, diğer model ağaçların hiçbirinin bu alanda uygunluğa sahip olmadığı görülmektedir. Bu durum *P. euphratica*’yı bu alanın dominant enerji ormancılığı ağacı haline getirmektedir. Şekil 4.33’te *P. euphratica*’nın özellikle 7. iklim bölgesi için belirgin olan değişim grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.33. *P. euphratica* yetiştiriciliğine ait uygunluk sınıflarının 2017 ve 2050 arasındaki değişiminin iklim bölgelerine göre sonuçları.

Tüm bu tartışmalardan özetlenecek şekilde ve ağaçlar özelinde bakıldığında ülkemizdeki enerji ormancılığı planlamacılığında,

- 1. iklim bölgesinde *P. acuelata*,
- 2. iklim bölgesinde *R. pseudoacacia*;
- 3. iklim bölgesinde *M. azedarach* ve kalan en uygun alanlarda *L. leucocephala* ve
- 7. iklim bölgesinde *A. altissima* ve *P. euphratica* yetiştiriciliği, günümüz planlamalarına hızlı bir şekilde dahil edilebilir (en uygun sınıfa bakıldığında).

Burada bulunan alansal sonuçlar içinde uygun ve en uygun sınıfında olan alanlar, model ağaçların CO₂ tutma potansiyelinin belirmesinde kullanılmıştır.

4.4 Enerji Ormanlarının CO₂ Tutumunun Belirlenmesi ve Enerji Sektöründen Kaynaklı CO₂ Emisyonları ile Karşılaştırılması

Tez çalışması kapsamında ele alınan model ağaçların en önemli özelliklerinden birisi de tarım alanları ve orman alanlarının haricinde kalan bölgelerde farklı uygunluk sınıfları baz alınarak yetiştirilmesinin incelenmesi ile bu yetiştiriciliğin bir yandan ormanlaştırma çalışmalarına zemin hazırlamasıdır. Yetiştirilecek ağaçlar ile ilgili, literatürde, gelişimlerine ya da gözlemlere göre belirli bir yıldan sonra depoladıkları karbon kapasitesinin ortaya koyulduğu görülmüştür. İklim değişikliği etkilerini azaltma politikaları anlamında, CO₂ emisyonlarının azaltılması için karbon depolama kapasiteleri ve karbon tutumları ile ilgili hesaplamalar literatür bilgileri baz alınarak incelenmiştir. Yapılan tez çalışmasında da literatür taraması gerçekleştirilmiş ve bu taramada üst toprakta hektar başına karbon tutulum kapasiteleri tespit edilmiştir. Elde edilen derleme sonuçları Çizelge 3.4’te verilmiştir. Buna göre *R. pseudoacacia* için Son et al., (2014)’e göre 3 yıl sonra, 1 yıl içinde depolanan CO₂ miktarı 13.79 Mg/ha; *P. aculeata* için Dagar and Tomar (2002)’e göre 7 yıl sonra, 1 yıl içinde depolanan CO₂ miktarı 1.2 Mg/ha; *A. altissima* için Aghbash (2018)’e göre 26 yıl sonra, 1 yıl içinde depolanan CO₂ miktarı 17.99 Mg/ha; *L. leucocephala* için Sheikh et al., (2015)’e göre 10 yıl sonra 1 yıl içinde depolanan CO₂ miktarı 53.98 Mg/ha; *M. azedarach* için Sarkar et al., (2017)’e göre 10 yıl sonra, 1 yıl içinde depolanan CO₂ miktarı 10.72 Mg/ha ve *P. euphratica* için Aishan et al., (2018)’e göre 16 yıl sonra, 1 yıl içinde depolanan CO₂ miktarı 4.3 Mg/ha’dır.

Burada model ağaçların “en uygun” ve “uygun” sınıflarındaki alan büyükleri hesaba katılmış ve Türkiye genelindeki yetiştiricilikleri, bu tez çalışmasına göre gerçekleştirildiğinde ne kadar karbon tutacakları ton bazında hesaplanmıştır. 2050 yılından itibaren ise gelecek alansal uygunlukları hesaba katılmış ve yüzyılın ikinci yarısında potansiyel enerji ormancılığı alanlarının karbon tutma potansiyelleri ortaya konmuştur. Sonuçlar, Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Ağaçların, 2018 yılında enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonunu 2017 yılından itibaren azaltım potansiyelleri ile 2050 yılı ve sonrası için karbon tutum potansiyelleri.

Ağaç	Uygun (ha) (2017)	En Uygun (ha) (2017)	Toplam Alan (ha) (2017)	Ağaçların Alansal Karbon Tutumu (ton/ha)	CO ₂ Emisyonu (binton) (2018)	Toplam Tutum (binton)	Karbon Yutak Oranı (%)	Başlangıç Zamanı
<i>R. pseudoacacia</i>	14,411,020	4,093,485	18,504,505	13.79		255,177	70.92	2020
<i>P. aculeata</i>	2,472,580	8,759	2,481,339	1.2		2,978	0.83	2024
<i>A. altissima</i>	13,766,326	2,483,815	16,250,141	17.99	359,819	292,340	81.25	2043
<i>L. leucocephala</i>	1,158,629	0	1,158,629	53.98		62,543	17.38	2027
<i>M. azedarach</i>	2,559,667	352,718	2,912,385	10.72		31,221	8.68	2027
<i>P. euphratica</i>	666,343	883	667,226	4.3		2,869	0.80	2033
Ağaç	Uygun (ha) (2050)	En Uygun (ha) (2050)	Toplam Alan (ha) (2050)	Ağaçların Alansal Karbon Tutumu (ton/ha)	Toplam Tutum (binton)	Başlangıç Zamanı		
<i>R. pseudoacacia</i>	18,657,617	6,171,772	24,829,389	13.79	342,397	2053		
<i>P. aculeata</i>	4,289,012	169,411	4,458,422	1.2	5,350	2057		
<i>A. altissima</i>	18,692,145	3,273,895	21,966,040	17.99	395,169	2076		
<i>L. leucocephala</i>	1,960,193	3,491	1,963,683	53.98	106,000	2060		
<i>M. azedarach</i>	3,208,945	809,433	4,018,378	10.72	43,077	2060		
<i>P. euphratica</i>	1,646,840	8,621	1,655,462	4.3	7,118	2066		
Ağaç	2050 İtibarı ile Uygun Olan İklim Bölgesi(leri)	2050 İtibarı ile Uygulanabilir Alanlar (ha)	Ağaçların Alansal Karbon Tutumu (ton/ha)	Toplam Tutum (binton)	Başlangıç Zamanı			
<i>R. pseudoacacia</i>	2/6/10	7,525,907	13.79	103,782	2053			
<i>P. aculeata</i>	2/12	708,916	1.2	851	2057			
<i>A. altissima</i>	6/10/12	7,514,669	17.99	135,189	2076			
<i>L. leucocephala</i>	1/2/5	1,151,985	53.98	62,184	2060			
<i>M. azedarach</i>	2/3/6/7/9	2,165,344	10.72	23,212	2060			
<i>P. euphratica</i>	7	880,503	4.3	3,786	2066			

Günümüzden itibaren yapılacak enerji ormancılığı uygulamaları içinde yutak potansiyeli çarpıcı şekilde yüksek olan model ağaç *R. pseudoacacia*'dır (Çizelge 4.7). Ağacın, 2017 yılından itibaren kurulumu gerçekleştirilecek plantasyonlarda yetiştiriciliğe başlanması ile ülkemizin 2018 yılında atmosfere saldığı CO₂ emisyonlarının %70'ini 2020 yılında tutulması sağlanabilecektir. Burada, bu üç yıl içinde (2017-2020) enerji elde eldesi amacı ile ağacın kullanılmayacak olması yutak potansiyelini açısından önemli olacaktır. *A. altissima* ise bu yutak potansiyeline neredeyse 2046 yılında ulaşabilecektir. Ancak o dönem içerisinde biyoyakıt amacı ile tohumlarının ve meyvelerinin kullanılması, enerji eldesinin (sıvı biyoyakıt) gerçekleştirilmesini de sağlayabilecektir. Yapılan bu tez çalışması, günümüzden itibaren enerji ormancılığının uygulanması durumunda, günümüzde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ salımlarının neredeyse %97'sini 2030 yılında tutma imkanının bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecekte enerji ormancılığına katılacak alanlar da Çizelge 4.7'de ayrıca hesaplanmıştır. Burada 2050 yılı itibarı ile planlamaya katılacak iklim bölgeleri, her ağaç için tespit edilmiş ve 2050 yılı sonrasında kurulacak yeni plantasyonların yüzyılın ikinci yarısındaki karbon yutak değeri ortaya çıkarılmıştır. Örneğın *A. altissima* plantasyonları 2050 yılında 6., 10. ve 12. iklim bölgeleri için kurulduğunda, 2076'dan itibaren 135,189 binton CO₂ tutumu gerçekleştirebilecektir. Bu süreçte *R. pseudocacacia* plantasyonları da 2., 6. ve 10. iklim bölgelerinde 2053'te faaliyete girebilecek ve 3 yıl içinde önemli ölçüde karbon yutak potansiyeli oluşturacaktır. *P. euphratica* ise geleceğın Orta Anadolu plantasyon modelidir. Bu ormanların günümüzdeki etkilerinden çok gelecekteki enerji ormancılığı planlamalarına katkısı göze çarpmaktadır.

2017 yılında Türkiye'de mevcut orman alanlarının karbon tutumu yaklaşık 100 Mt civarındadır. Sera gazı salımı ise 526 Mt civarında olmuştur (Wikipedia, 2020). Ülkemizde sera gazı emisyonlarının yaklaşık olarak %80'i ormanlardan kaynaklı karbon yutağı tarafından tutulamamaktadır (emisyon kaçağı). Tez çalışmasında ortaya koyulduğı gibi sadece *R. pseudoacacia* yetiştiriciliğı bile 2020 yılında 255 Mt tutum sağlayacaktır. Bu durumda emisyon kaçağı %30 civarına düşecektir. *R. pseudoacacia*'ya başka türlerin de katılımı ile emisyonların neredeyse tamamı bile tutulabilir (optimist senaryo). Böylece Türkiye, en iyi niyetli senaryo ile karbon nötr bir ülke haline gelebilir.

Burada tartışılabilecek bir diğer husus ise hızlı gelişim gösteren bu ağaçlardan bazılarının (*R. pseudoacacia* ve *L. leucocephala* gibi) yutak potansiyeli oluşturma yeteneğinin de hızlı gelişmiş olmasıdır. Bu aşamada strateji oluşturma durumu ele alınırsa günümüzde kurulacak enerji ormancılığı plantasyonlarının farklı amaçlara tahsisi gündeme gelebilir. Burada önerilen, uygun alanların, enerji üretimi ve karbon yutağı şeklinde iki amaç için ayrı ayrı tahsis edilmesidir. Burada enerji ve karbon yutağı arasındaki tahsis oranları ise stratejilerin önceliğine göre değişebilir. Hatta bu önceliğin belirlenmesi için plantasyonların kurulmasında rol alacak dolaylı ve doğrudan paydaşların AHP tekniğindeki gibi ağırlıklandırılmış öncelik oluşturma da sağlanabilir.



5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye iklimi, jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri nedeniyle biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu bir ülkedir (TÇVY, 2005). Coğrafi konumu, kuzeyde Kuzey Anadolu, güneyde Toros Dağları'nın etkileri ve iklim tiplerinin çeşitliliği de ülkemizde çok çeşitli vejetasyon formlarının bulunmasına ya da yetiştirilebilmesine olanak sağlamaktadır (Atalay, 1983). Ülkemizin sahip olduğu bu nitelikler, günümüzde fosil yakıtlara ikame olabilecek biyokütle enerjisinin kullanımı ve yaygınlaşması için çok uygundur.

Kentlerin toplumları ve ekonomileri ayakta tutmak için görünüşte sonsuz bir araç ağına, ulaşım sistemine ve hiç bitmeyecekmiş gibi kullanılan elektrik ve ısı enerjisine ihtiyacı bulunmaktadır. Günümüzde sadece ulaşım sektörü, küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %25'inden sorumludur. Sürdürülebilir yaşam ve ulaşım çözümleri oluşturmak, düşük karbon hedefi için büyük bir fırsattır ve zihinsel bir değişiklik gerektirir: evlerde elektrik ve ısı ihtiyacının yenilenebilir enerji ile karşılanması, arabalarda kullanılan sıvı fosil yakıtların yerini biyoyakıtlara bırakması gibi. Enerji bitkilerinin yetiştirilmesi veya enerji ormancılığı uygulamalarının yaygınlaştırılması ise bu zihinsel değişikliğin önemli bir parçası olma potansiyeline sahiptir.

Gıda temini dışında kalan bitkilerin katı, sıvı ve gaz yakıt üretiminde hammadde olarak kullanıldığı ve enerji tarımı olarak da adlandırılan uygulamalar; ayrıca kısa çevrimli ve hızlı büyüyen ağaçların yetiştirilmesi ile gerçekleştirilen enerji ormancılığı sonucunda fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazı salımının azaltılmasının yanı sıra, ulusal enerji arz güvenliğimizin kendi öz kaynaklarımızla korunması da sağlanmaktadır. Özellikle enerji ormancılığı uygulamaları ormanlaştırma konusuna da dahil olduğundan sadece biyokütle enerjisi üretimi ile sera gazı emisyonlarını azaltmakla kalmaz; aynı zamanda önemli bir karbon yutağı oluşturmaktadır (Kongsager et al., 2013).

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, günümüzde ve gelecekte fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve dolayısı ile atmosferdeki CO₂ emisyonlarındaki büyümenin yavaşlatılması için yenilenebilir enerji kaynakları içinde ele alınan enerji ormancılığı kavramı üzerinde durulmuştur. Tez çalışması kapsamında, eğer enerji hammaddesi olarak enerji ormanlarından faydalanacaksak, bu ormanların uygun bir şekilde nerelerde yetiştirileceğine yönelik planlamaların

yapılmasının oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Ormancılık faaliyetlerinde, ağaçlar, her ne kadar geniş yetiştirme aralığına sahip gözüke de ağaçların yetiştirileceği yerlerin, farklı kriterler ışığında seçilmesi gerekmektedir. Bunun için ise başlangıç aşamasında mekansal uygunluk analizleri yapılmalıdır. Mekansal uygunluk analizleri, yetiştirilmesi düşünülen ağacın yetiştiriciliğini etkileyen kriterleri ve eğer varsa bu kriterlerin önem derecelerini bir arada ele alan birtakım prosedürleri barındırmalıdır. Bu şekilde orman plantasyonunda yer alacak ağacın nerelerde uygun olarak yetiştirilebileceği genel olarak belirlenebilir ve ormancılık uygulamaları için ideal alanlar ortaya konabilir.

Tez çalışması kapsamında pek çok niteliğe sahip olan ve kısa çevrimli orman ağaçları arasında bulunan *R. pseudoacacia*, *P. aculeata*, *A. altissima*, *L. leucocephala*, *M. azedarach* ve *P. euphratica* türlerinin, Türkiye genelinde hangi alanlarda yetiştirilebileceğine yönelik CBS tabanlı çok kriterli karar analiz modeli (CBS-ÇKKA) oluşturulmuştur (Bkz. Bölüm 3.8). Modelde çok farklı kriterler (toprak pH, toprak kum içeriği, toprak kil içeriği, ana kayaya olan derinlik, sayısal yükseklik modeli, eğim, bakı, aylık maksimum sıcaklık ortalaması, aylık minimum sıcaklık ortalaması, aylık ortalama sıcaklık, toplam yağış ve arazi kullanım sınıfları) ele alınmış olup kriterlerin karşılaştırılabilir olması için iki farklı standardizasyon tekniği uygulanmıştır. Bunlardan biri zaten literatürde bulunan fuzzy metodu iken; diğer teknik yine literatürde farklı şekillerde bulunan ancak kendisi tek başına iklim değişikliğinin etkilerini ölçümlemede spesifik modelleme olarak bilinen Bitki İklim Uygunluk Modeli'dir (BİUM) (Bkz. Bölüm 3.8.1.2). Tez çalışmasında standardizasyon tekniği olarak kullanılmasındaki esas sebep ise iklim verilerinin, bitkinin ekolojik istekleri ile bir arada değerlendirilmesinin, tek başlarına ele alınmasından daha anlamlı olmasıdır. Standardizasyon tekniğinin yanı sıra kriterlerin önem derecelerinin olup olmadığı ve varsa mekânsal uygunluk analizlerini hangi ölçüde domine edeceklerini ortaya koyan ağırlıklandırma işlemi de tez çalışmasında AHP metodu ile uygulanmış olup; alanında uzman kişiler kriterleri kapsamlı bir şekilde değerlendirmişlerdir (Bkz. Bölüm 3.8.2).

Yapılan tez çalışmasında CBS-ÇKKA modeli oluşturulduktan sonra şu sorunun cevabı aranmıştır: Bitkiler değişen iklim koşullarından, özellikle sıcaklık ve yağıştaki değişikliklerden etkileniyorsa, ormancılık faaliyetleri gelecekte yaşanacak iklim değişikliğinden nasıl etkilenecektir? Bu sorunun cevabı aslında sürdürülebilir ormancılık uygulamalarının da temelini oluşturmaktadır. Enerji ormancılığının temelinde duran ağaçların, gelecekte değişecek sıcaklık ve yağış

değerlerinden nasıl etkileneceği ve ekolojik özelliklerinin değişimlere cevap verip vermeyeceğinin araştırılması tez çalışmasının CBS-ÇKKA oluşturma aşamasından sonraki kısmını oluşturmuştur. Bu aşamada, küresel iklim modeli olan HADGEM2-ES modelinin RCP 4.5 senaryosuna yönelik 2050 yılı (2041-2060) sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Bu veriler BİUM ortamına entegre edilmiş ve model ağaçların gelecekteki iklimsel uygunlukları konumsal olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada seçilen RCP 4.5 dışında dünya genelinde üzerinde çalışılan 3 farklı Temsili Konsatrasyon Rotası (RCP 2.6, RCP 6.0 ve RCP 8.5) daha bulunmaktadır. Peki neden bu çalışmada RCP 4.5 seçilmiştir ve neden örneğin RCP 8.5 ele alınmamıştır? Ve eğer şimdiden enerji ormancılığı yapılması öneriliyorsa, karbon yutaklarına katkı sağlanarak ülkenin sera gazı emisyonlarında azaltım yapması hedeflenmiş olmayacak mı; ağaçlara yönelik gelecek iklimsel uygunluklarını, neden şimdiden üretilmiş bir iklim senaryosuna göre analiz ediyoruz? İşte burada bahsedilen bu iki soru şu şekilde açıklığa kavuşturulmaktadır. RCP 8.5 de gelecek tahminlemelerinin yapılmasında oldukça sıklıkla kullanılan bir temsili konsantrasyon rotasıdır. Ancak bu rota, gelecek iklim senaryoları içinde “hiçbir şey yapılmazsa” yani hiçbir iklim politikası belirlenmezse olacakları simüle etmektedir. Bu tez çalışmasında belirtildiği gibi amaç hem fosil yakıt kullanımının azaltılması hem de karbon yutak potansiyelinin geliştirilmesi için enerji ormancılığı uygulamalarına yönelik konumsal bir model geliştirmektir. Eğer tez çalışmasının sonuçları dikkate alınarak enerji ormancılığı günümüzde uygulanmaya başlarsa ülkemizin sera gazı emisyon artışı yıllar içinde azalacaktır. Ayrıca RCP 4.5’in senaryosunda ormanlaştırma faaliyetleri de bulunmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması, tüm dünya genelinde de ülkelerden talep edilmektedir. RCP 4.5 ise emisyonların, IPCC 1.5°C raporuna ve Kyoto Protokolü’ne göre azaltılması durumunda iklimin 2050 yılında stabilize edilebileceğini ortaya koymaktadır. Emisyonların azaltılması ise enerji ormancılığı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve ayrıca karbon yutak potansiyelinin artırılması ile mümkün olacaktır. Emisyonların azaltılmasını hedefleyen bu tez çalışmasında, tüm bu nedenlerden dolayı, dengede tutma rotası olarak RCP 4.5’in kullanılması oldukça doğaldır. Buna rağmen, atmosferde kalan sera gazları, geleceğe uzanacak bir gölge oluşturacağından dolayı, dünya genelinde ortalama sıcaklık ve yağış trendi değişecektir. Yani bu durumda da bitkilerin, ağaçların iklimsel uygunlukları değişecektir. İşte tez çalışmasında yapılan analizler, bu değişiklikleri gözler önüne sermektedir. Bahsedilen gölge göz önüne alınarak, gelecekte de devamlı ve sürdürülebilir orman yönetimi istendiğinde, mutlaka

iklimsel uygunluk analizlerinin yapılması gerekecektir. Bu nedenle, tez çalışmasında, gelecek periyoda yönelik iklimsel uygunluk analizleri gerçekleştirilmiş; bu analizler RCP 4.5 senaryosuna göre yapılmıştır.

Gelişmekte olan birçok ülkede karbon (C) yutaklarının korunması sosyo-ekonomik gelişmeler ile doğrudan ilişkilidir. Ormancılık için geliştirilen plantasyonlar, karbon tutumu sağlayarak ve aynı zamanda iç ve dış pazar gereksinimlerini karşılamak için odun ve odun dışı ürünler tedarik ederek iklim değişikliğini azaltma ve ekonomik kalkınmayı birleştirmek için potansiyel bir yol oluşturmaktadır. Tez çalışmasında bu niteliklere sahip ve bulguları ile göze çarpan tür *R. pseudoacacia*'dır. Bu tür, günümüzden itibaren yapılacak enerji ormancılığı uygulamaları içinde yutak potansiyeli çarpıcı şekilde yüksek olan model ağaçtır. Ağacın 2017 yılından itibaren kurulumu gerçekleştirilecek plantasyonlarda yetiştiriciliğe başlanması ile ülkemizin 2018 yılında atmosfere saldıgı CO₂ emisyonlarının %70'ini 2020 yılında tutulması sağlanabilecektir. Burada vurgulanması gereken husus, bu tür plantasyonların geliştirilmesinin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (*United Nations Framework Convention on Climate Change – (UN)FCCC*) Kyoto Protokolü kapsamında temiz kalkınma mekanizması kapsamında değerlendirilmiştir. Bu plantasyonlardan ülkelerin mali kazanımlar elde etmesi ise ancak Ormansızlaşma ve Orman Bozulmasından Kaynaklı Emisyonların Azaltılması Programı (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation - REDD +*) ile entegrasyon halinde mümkündür ve günümüzde mevcut ormanların korunması ve ormanlaştırma uygulamaları UNFCCC altında müzakere edilmektedir. Eğer bugün uygun alanlarda enerji ormancılığı uygulamalarına karbon tutum potansiyelleri bu şekilde yüksek türler ile başlanabilirse iklim değişikliği ile mücadele edilmiş olacak, ekonomik kalkınma desteklenecek ve aynı zamanda iklim politikaları kapsamında mali kazanımlar da elde edilebilecektir.

Atmosferdeki artan sera gazı (GHG) konsantrasyonları, başta karbon (C) olmak üzere, enerji dengesinde ve dolayısıyla iklimde bir değişikliğe neden olacağı için ivedilikle ele alınması gereken küresel çevre sorunlarından biri olmuştur. Emisyonların çoğu fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanmasına rağmen; atmosferik karbonu azaltan ve en büyük karbon depolama mekanizmaları olan ormanların yakılması, tahrip edilmesi veya orman alanlarının başka amaçlar için ortadan kaldırılması atmosferik karbon oranının artmasına neden olmaktadır (IPCC, 2006). Sera gazı salımının artması ise canlı hayatının sürdürülebilirliğini

azaltabilecek birçok çevre felaketine sebebiyet vermektedir. Küresel ve bölgesel etkilere sahip olan iklim değişikliğini önleme veya bu değişikliğe uyum sağlamaya yönelik çalışmaların yapılması ise günümüz canlılarının ve gelecek nesillerin yaşamının devamı açısından büyük önem arz etmektedir. Orman Genel Müdürlüğü'nün 2019 yılı istatistiklerine göre, Türkiye'de çıkan 2,688 orman yangınında 11,332 hektar alan kül olmuştur (NTV, 2020). Yangından etkilenen ve birincil orman alanı olarak geri dönüşü olmayan alanlarda (yarı-kurak veya kurak bölgelerde) bozuk sahalara uyum gösterebilen *A. altissima*, *M. azedarach* veya *L. leucephala* gibi ağaçların yetiştirilmesi, çam ağaçları dikiminden daha nitelikli olabilecektir. Bu ağaçlar o bölgenin ıslah edilmesine de katkıda bulunabileceğinden dolayı, bölge âtil durumda kalmamış olacak ve en kısa zamanda karbon yutak kapasitesinin artırılması sağlanabilecektir.

İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik en önemli çaba sera gazı emisyon oranlarının azaltılmasına yönelik olmalıdır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ise hem fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji sistemlerine bırakması hem de atmosferde mevcut karbon oranlarının azaltılması ile mümkün olabilir. Enerji ormancılığı, tüm bu bahsedilen hususlara hitap ettiği için çok amaçlı bir uygulamadır. Kısa çevrimli ormancılık uygulamaları içinde değerlendirilen enerji ormancılığı önemli ölçüde karbon tutma potansiyeline sahiptir ve atmosferik karbonu daha az yıllık dalgalanmalarla ve daha uzun süreler boyunca tutabilir. Ürün bitkilerinden farklı olarak, ağaçların yetiştirilmesinde tutulan karbonun atmosfere geri dönüşü daha yavaştır. Enerji ormancılığı plantasyonları, özellikle yerel halkın bulunduğu alanlarda kurulduğunda, gelişmekte olan ülkelerde daha uygun bir sera gazı azaltma çözümü olabilmektedir. Bu nedenle enerji ormancılığı plantasyonları, iklim değişikliğine ve gelişmekte olan ülkelerdeki yerel toplulukların karşı karşıya olduğu diğer baskılara uyum sağlama anlamında ve uyum kapasitesinin artırılmasında önemli bir unsur olabilir. Bu uygulamalar elbette devlet iştiraki ile veya başka kuruluşların katılımı ile de sağlanabilir. Burada önerilecek ve üzerinde durulacak konu ise enerji ormancılığının büyük ölçekli plantasyonlar ile gerçekleştirilecekse elbette ekonomik kalkınma sağlayacağı; ancak yine de çevresel sorunların ortadan kaldırılması ve sosyal konular ile çatışma halinde olmamasına dikkat edilmesi gerektiğidir. Bu durum enerji ormancılığının nerede yapılabileceği sorusunu tekrar karşımıza çıkarmaktadır. Yer tespiti seçiminde planlama, mutlak surette mevcut arazi kullanım sınıfları içerisinde birincil orman alanlarının, verimli tarım alanlarının vb. öneme sahip alanların yerini plantasyonlara bırakmaması zorunluluklarını içermelidir. Arazinin ele alınan model

ağaç türlerine, toprak özellikleri ve iklim özellikleri anlamında cevap verebilecek nitelikte olması ve yükseklik ve eğim gibi birtakım operasyonel kriterlerin dikkate alınması da yine enerji ormancılığı uygulamalarının yapılabileceği yerlerin tespit edilmesinde önem arz etmektedir.

Enerji ormancılığı, adından da anlaşılabilirliği üzere, yetiştirilen ağaçtan katı, sıvı ve gaz yakıt elde edilerek kullanılmasını ve bu süreçte ormancılık alanlarının karbon yutağı olarak değerlendirilmesini içeren çok kapsamlı bir uygulamadır. Burada ağaçlar yetiştirildikleri andan itibaren karbon tutumu yapmaya başlarken; kısa sürede hasat edilebilecek niteliğe sahip oldukları için de sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunurlar. Ağacın büyüme evrelerinde tohumlarından eğer mümkünse sıvı yakıt üretiminde (örn. *A. altissima*, *M. azedarach*) yararlanılabilir. Ağaç anaerobik fermantasyonda kullanıldığında (örn. *L. leucocephala*) biyogaz üretiminde kullanılabilir. Ağaçların odunu katı yakıt üretiminde, elektrik ve ısı üretiminde hammadde olabilir. Tüm bunların yanı sıra enerji ormancılığında kullanılabilecek bu ağaçların yapraklarının yem üretimi potansiyeli bulunabilirken; çiçekleri eğer uygunsa arıcılıkta dahi kullanılabilir (örn. *R. pseudoacacia*). Bu ağaçların bazıları önemli olacak şekilde ilaç üretiminde (örn. tohumları) de kullanılabilmektedir.

Bu ağaçlar ile ilgili vurgulanması gereken hususlardan biri de takip edilmedikleri ve kontrol edilmedikleri takdirde mobilizasyonlarının yüksek olmasıdır. Bu durum bu türlerin farklı türler ile rekabete girmesi ve tür zenginliğini azaltması ile sonuçlanabilir. Bu husus ile ilgili her tür için detaylı olarak incelenmiş farklı kontrol yöntemleri bulunmaktadır (Bkz. Bölüm 3.2). Bazı türler için sıkça tekrarlanan kesimler veya kök çıkartımı, kontrol yöntemlerinden biri olurken (*R. pseudoacacia*); bazı türler için buldozer veya traktör ile çekme ve tırmıklama yöntemi etkin şekilde kullanılabilmektedir (*P. aculeata*). Bazı türlerde, köklere herbisit enjeksiyonu yüksek ölçüde işe yararken (*A. altissima*); yine bazı türlerde, solarizasyon gibi teknikler oldukça etkilidir (*L. leucocephala*). Bazı türler ise taban yangınlarına hassas olup bu şekilde kontrol altına alınabilmektedir (*M. azedarach*). Bu türler çok amaçlı niteliklere sahip olması nedeni ile enerji ormancılığı plantasyonlarında seçilebilir; ancak orman yönetimi kapsamında teknik olarak takiplerinin gerçekleştirilmesi ve belirlenen alan dışında yayılışlarını kontrol altına alabilecek sistemlerin geliştirilmesi mutlaka gereklidir. Geliştirilen sistemler, uzaktan algılama teknikleri ile monitörizasyon işlemlerini de barındırabilir. Unutulmamalıdır ki fosil yakıt ikamesi için ideal, yeni karbon yutakları oluşturan,

pek çok ormancılık hizmeti sunan bu ağaçların katkılarının yanı sıra dikkat edilmesi gereken hususları da bulunmaktadır. Ancak bu hususlar etkin kontrol stratejileri ile ortadan kaldırılabılır.

Ülkemiz iklim değişikliği ile mücadele kapsamında Birleşmiş Milletler'e (BM) belirttiği şekilde ulusal katkısına dair niyetlerini ortaya koymaktadır. Ükelere ait niyet edilen ulusal katkı belgelerine (NUKB; Intended Nationally Determined Contribution-INDC) bakıldığında Türkiye'nin iklim değişikliği ile mücadelede ortaya koyduğu birtakım ulusal koşullar göze çarpmaktadır. Buna göre Türkiye,

“1990-2012 yılları arasında GSYİH'da %230 artış sağlamıştır. 1990'dan bu yana nüfusu %30'dan fazla artmıştır. Türkiye'nin enerji talebi ise her yıl %6-7 artmaktadır. Bu belgede belirtildiği üzere ülkemiz, Dünya Bankası sınıflandırmasına göre üst-orta gelirli gelişmekte olan bir ülkedir. Türkiye, resmi kalkınma yardımı (Official Development Assistance- ODA) almaya hak kazanmaya devam etmektedir. Türkiye, IPCC'de Ek I'de listelenmiştir. Ancak 1 / CP.16 kararı, Türkiye'nin özel koşullarını tanımış ve Türkiye'yi Ek I'de yer alan diğer taraflardan farklı bir duruma getirmiştir. Ülkemiz iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik ortak çabalara, ulusal şartlarına ve imkanlarına uygun olarak katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu bakış açısıyla, Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi ve Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı sırasıyla 2010 ve 2011 yıllarında kabul edilmiştir. Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı, ilgili tüm sektörlerde uygulanan emisyon kontrol ve uyum politikaları ve önlemlerinden oluşmaktadır. 2012 yılı sera gazı envanteri, 2012 yılında CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilen toplam emisyonların Türkiye'de 440 milyon ton olduğunu ortaya koymuştur. Enerji sektörü ise emisyonların %70,2'sini oluşturarak en büyük paya sahip olmuştur. Enerji sektörünü %14,3 ile sanayi süreçleri, %8,2 ile atık sektörü ve %7,3 ile tarım izlemiştir. Aynı yıl Türkiye'nin kişi başı sera gazı (GHG) emisyonu 5,9 ton CO₂ eşdeğeri ile AB ve OECD ortalamasının çok altındadır (UNFCCC, 2015).”

Ülkemiz tarafından belirtilen Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanı, 2021-2030 yılları arasını kapsamaktadır. Ülkemiz tarafından niyet edilen sera gazı azaltım katkısı olağan senaryoya (Business as usual-BAU) göre 2030 yılı için %21 azaltım şeklindedir. Niyet belgesine dahil edilen sera gazları ise karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) azot oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs), sülfür heksaflorid (SF₆) ve azot triflorid (NF₃) şeklindedir. Türkiye belirtilen sera

gazlarının azaltımı amacıyla pek çok sektörde birçok plan ve politika geliştirmiştir. Bu plan ve politikaların içinde

- Alternatif yakıtların ve “temiz” araçların kullanımını teşvik etmek (ulaştırma).
- Atıklardan uygun sektörlerde kullanılmak üzere alternatif yakıtlar üretilmesine yönelik araştırmalar yürütmek (endüstri).
- Yutak alanlarını arttırmak ve arazi bozulmasını (degradasyon) engellemek (ormancılık) şeklinde belirtilen planlamalar bulunmaktadır.

Belirtilen bu stratejiler, tez çalışmasının gerçekleştirilmesine yönelik en büyük motivasyonları oluşturmıştır. Ülkemiz yukarıda belirtilen planlamalar ve diğer planlama unsurları ile birlikte 2030 yılında olağan senaryoda 1175 milyon ton CO₂ eşdeğeri olan sera gazı salımını 929 milyon ton CO₂'ye indirmeyi hedeflemektedir (UNFCCC, 2015; Gündoğan, 2015). Yapılan bu tez çalışması ise günümüzden itibaren enerji ormancılığının uygulanması durumunda, gelecek senaryolarındaki sera gazı salımından farklı olarak, günümüzde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ salımlarının neredeyse %97'sini 2030 yılında tutma imkanının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Yukarıda belirtilen gelecek senaryoları, ormanlaştırma ve yenilenebilir enerji stratejilerinin yenilenmesi ile gelecek sera gazı salımlarının azaltıldığı bir pozitif katkı beyanına dönüşebilir.

Gelecek için ülkemiz tarafından belirlenen stratejiler kararlılığın bir göstergesi olsa da günümüzde sera gazı emisyon istatistiklerinin tutulduğu TÜİK verilerine “*Ormancılık ve diğer arazi kullanımından kaynaklanan emisyonlar ve yutaklar*” dahil edilmemektedir. Bu da ülkemiz genelinde ormansızlaşma veya ormancılık faaliyetleri ile arazi kullanım değişikliğinden kaynaklı emisyon etkilerinin henüz ulusal planlamalara dahil edilmemiş olmasından kaynaklıdır. Ülkemiz genelinde çalışılması gereken konular olması gereken “ormansızlaşma veya orman bozulmasından kaynaklı emisyonların hesaplanması” ve ayrıca “ormanlaştırma veya orman yeniden düzenlemesi konularının karbon yutaklarının zenginleştirilmesine nasıl katkı sağlayacağı” çalışmaları Birleşmiş Milletler’e verilen niyet edilen ulusal katkı beyanlarına mutlaka eklenmelidir.

Burada elde edilen sonuçlar, tezin üzerinde durduğu konulardan birini daha tartışmaya açabilmektedir. Enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının ormanlaştırma yolu ile tutulması ve karbon azaltılmış bir enerji sektörü hayali için bu çalışma ile ülkemizde Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD) politikalarının gündeme gelmesi mümkün olacaktır. REDD politikası, ülkelerin CO₂ salımlarını kontrol altına alabilmesi için mevcut ormanların korunmasını ya da ormanlaştırma çalışmalarını teşvik etmektedir. Ancak burada enerji eldesi amacı ile kurulacak plantasyonların ormanlaştırma adı altında birincil orman alanlarını tehdit etmemesi de gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışması, mevcut doğal kaynakların korunduğu bir planlama ile tasarlanmıştır. Birincil orman alanlarına ve tarım alanlarına dokunmayan bir enerji ormancılığı uygulaması geliştirilen bu çalışma, böylece, enerji sektörünün CO₂ emisyonlarını arttırıcı etkisinin önleme amacı ile yenilenebilir enerji planlaması ile entegre edilmiş ulusal REDD stratejisi de sunmaktadır.

Yapılan bu çalışma, geleceğe yönelik ileri görüşlü ormancılık stratejileri içinde, hem günümüz hem de gelecek iklim senaryolarına göre yüzyılın ikinci yarısı için ülkemizde ve literatürde bir ilk olmak ile birlikte gelecekte uygun olacak alanların şimdiden ormancılığa tahsis edilmesini ve gelecek nesiller için ormancılık projesi adı altında korunmasını önermektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abohassan, A.A., Rudolph, V.J. and Hyder, D.N.**, 1978, Afforestation for sand dune stabilization in Al Hassa Oasis, Saudi Arabia. Proceedings of the First International Rangeland Congress, 257-259pp.
- Acartürk, R.**, 1996, Şifalı Bitkiler ve Flora Sağlığımız. Orman Genel Müdürlüğü Mensupları Yardımlaşma Vakfı Yayınları. ISBN 975-96089-0-1.
- Adger, W.N.**, 2006, Vulnerability, *Glob. Environ. Change*, 16: 268–281pp.
- Ahmadi Sani, N., Babaie Kafaky, S., Pukkala, T. and Mataji, A.**, 2016, Integrated use of GIS, remote sensing and multi-criteria decision analysis to assess ecological land suitability in multi-functional forestry, *J. For. Res.*, 27: 1127–1135pp.
- Ahmed S. and Idris S.**, 1997, *Melia azedarach*. In: Hanum, I.F., Maesen, L.J.B. van der (eds) Plant Resources of South-East Asia. No. 11 Auxiliary plants. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia. Backhuys Publishers, 187-190pp.
- Aishan, T., Betz, F., Halik, Ü., Cyffka, B. and Rouzi, A.**, 2018, Biomass Carbon Sequestration Potential by Riparian Forest in the Tarim River Watershed, Northwest China: Implication for the Mitigation of Climate Change Impact. *Forests*, 9(196).
- Akman, Y., Düzenli A. ve Güney, K.**, 2011, Biyocoğrafya. Palme Yayınları.
- Andersson, G., Asikainen, A., Björheden, R., Hall, P.W., Hudson, J.B., Jirjis, R., Mead, D.J., Nurmi, J. and Weetman, G.F.**, 2002, *Production of forest energy*. In: Richardson J, Björheden R, Hakkila P, Lowe AT, Smith CT (eds) Bioenergy from Sustainable Forestry, Guiding Principles and Practice, Kluwer Academic Publishers, 344 pp.
- Aronoff, S.**, 1995, Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui H. and Kanno, T.,** 2005, Landslides in Sado Island of Japan: part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, *Eng Geol.*, 81: 432–445pp.
- Aydın, A. ve Eker, R.,** 2011, CBS tabanlı bulanık üyelik modeliyle eğim haritalarının hazırlanması ve klasik yöntemle karşılaştırılması: Çığ risk değerlendirme uygulaması. 1. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş, 206-212pp.
- Aydın F. and Sarptaş H.,** 2014, Site identifcation for Solar-PV systems using GIS-based multi-criteria evaluation—a case study for Ödemiş, İzmir, Turkey (conference paper), SolarTR 2014 Conference and Exhibition.
- Aydın, F.,** 2015, Enerji Bitkisi Yetiştirilebilecek Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Desteği ile Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Aydın, F. ve Sarptaş, H.,** 2016, Spatial assessment of potential sites for solar desalination plants in Turkey, SolarTR 2016 Conference and Exhibition.
- Aydın, F. ve Sarptaş, H.,** 2018, İklim değişikliğinin bitki yetiştiriciliğine etkisi: model bitkiler ile Türkiye durumu, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 24(3): 512-521pp.
- Aydın, F., and Sarptas, H.,** 2020, Spatial assessment of site suitability for solar desalination plants: a case study of the coastal regions of Turkey, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22: 309–323pp.
- Aydın, F., Erilat, E. and Türkeş, M.,** 2020. Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016. *Reg Environ Change*, 20: 68.
- Atalay, İ.,** 1983, Türkiye Vegetasyon Coğrafyasına Giriş. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları. İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baldelli, C.**, 1992, *Black locust as a source of energy*. In Hanover, J.W., Miller, K., Plesko, S. (eds), *Proceedings of the International Conference on Black Locust: Biology, Culture and Utilization*, Department of Forestry, Michigan State University, East Lansing, Michigan, 237–243pp.
- Belavenutti, P., Romero, C. and Diaz-Balteiro, L.**, 2018, A critical survey of optimization methods in industrial forest plantations management, *Sci. Agric.*, 75: 239–245pp.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. and Courchamp, F.**, 2012, Impacts of climate change on the future of biodiversity, *Ecology Letters*, 15: 365–377pp.
- Benítez J., Delgado-Galván X., Izquierdo J. and Pérez-García, R.**, 2012, An approach to AHP decision in a dynamic context, *Decis Support Syst.*, 53: 499–506pp.
- Berndes G.**, 2001, Biomass in the energy system resource requirements and competition for land. Diss: Department of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology and Gothenburg University, Gothenburg, 150 pp.
- Bhushan, N. and Rai K.**, 2004, Strategic decision making applying the analytic hierarchy process, Springer, Bangalore.
- BioNET-EAFRINET**, 2011, “*Parkinsonia aculeata*”, [https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parkinsonia_aculeata_\(Parkinsonia\).htm](https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Parkinsonia_aculeata_(Parkinsonia).htm). (Erişim tarihi: 30 Mayıs 2018).
- BitkiVT**, 2018a. “*Robinia pseudoacacia* L.”, <http://www.bitkivt.itu.edu.tr/vt/report.php?sor=244>. (Erişim tarihi: 06 Nisan 2018).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- BitkiVT,** 2018b. “*Parkinsonia aculeata* L.”, <http://www.bitkiyt.itu.edu.tr/vt/report.php?sor=214>. (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2018).
- BitkiVT,** 2018c. “*Ailanthus altissima*”, <http://www.bitkiyt.itu.edu.tr/vt/report.php?sor=491>. (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2018).
- Bojórquez-Tapia, L.A., Brower, L.P., Castilleja, G., Sánchez-Colón, S., Hernández, M., Calvert, W., Díaz, S., Gómez-Priego, P., Alcantar, G., Melgarejo, E.D., Solares, M.J., Gutierrez, L. and Juarez, M.D.L.,** 2003, Mapping Expert Knowledge Redesigning the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, *Conserv. Biol.*, 17: 367–379pp.
- Bormann B.T. and Kiester A.R.,** 2004, Options forestry: acting on uncertainty, *J. For.*, 102: 22–27pp.
- Brewbaker, J.L. and Sorensen, C.T.,** 1990, *New tree crops from interspecific Leucaena hybrids*. In: Janick, J., Simon, J.E., (Eds.) *Advances in new crops*. Proceedings of the first national symposium 'New crops: Development, economics', Indianapolis, Indiana, USA, 283-289pp.
- Brudermann, T. and Sangkakool, T.,** 2017, Green roofs in temperate climate cities in Europe—An analysis of key decision factors, *Urban For. Urban Green.*, 21: 224–234pp.
- Buras, A., Thevs, N., Zerbe, S. and Wilmking, M.,** 2013, Productivity and carbon sequestration of *Populus euphratica* at the Amu River, Turkmenistan, *Forestry*, 86: 429–439pp.
- Burch, P.L., Zedaker, S.M.,** 2003. Removing the invasive tree *Ailanthus altissima* and restoring natural cover. *Journal of Arboriculture*, 29(1):18-24pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Burkill, H.M.**, 1995, The useful plants of West Tropical Africa. Vol. 3: Families J-L. Richmond, UK: Royal Botanic Gardens Kew.
- Burrough, P.A., MacMillan, R.A. and van Deursen, W.**, 1992, Fuzzy Classification Methods for Determining Land Suitability from Soil Profile Observations and Topography, *European Journal of Soil Science*, 43(2): 193–210pp.
- Carver, S.J.**, 1991, Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 5: 321–339pp.
- Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI)**, 2019a, “*Parkinsonia aculeata* (Mexican palo-verde) [Datasheet]”, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/38519>. (Erişim tarihi: 05 Mayıs 2018).
- Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI)**, 2019b, “*Ailanthus altissima* (tree-of-heaven) [Datasheet]”, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/3889>. (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2018).
- Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI)**, 2019c, “*Melia azedarach* [Datasheet]”, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/33144>. (Erişim Tarihi: 25 Kasım 2018).
- Chakhar, S. and Martel, J.-M.**, 2003, Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 7(2): 47–71pp.
- Chen, S.**, 1997, China Flora. *Science Press*, 43(3): 1-6pp.
- Chen, F.S., Zeng, D.H., Fahey, T.J. and Liao, P.F.**, 2010, Organic Carbon in Soil Physical Fractions under Differentaged Plantations of Mongolian Pine in Semiarid Region of Northeast China, *Appl Soil Ecol.*, 44: 42-48pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chen, Y., Zhou, L., Shenglei, F., Shiqin, Y., Suping, L., Liu, T., Zhang, W., Wang, X. And Zhang, Y.,** 2017, Reforestation makes a minor contribution to soil carbon accumulation in the short term: Evidence from four subtropical plantations, *Forest Ecology and Management*, 384: 400-405pp.
- Christersson L. and Verma, K.,** 2006, Short-rotation forestry – a complement to “conventional” forestry, *Unasylva*, 223(57): 34-39 pp.
- Climate Change in Australia,** 2016, Greenhouse gas scenarios (representative concentration pathways – RCPs), <https://www.climatechangeinaustralia.gov.au/en/climate-campus/modelling-and-projections/projecting-future-climate/greenhouse-gas-scenarios/> (Erişim Tarihi: 12 Ekim 2019).
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T., Jones, C.D., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Totterdell, I., Woodward, S., Reichler, T. and J. Kim,** 2008, Evaluation of the HadGEM2 Model. Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74, <http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/index.html>.
- Converse, C.K.,** 1984. “The nature conservancy element stewardship abstract for *Robinia pseudoacacia*”, <http://tncweeds.ucdavis.edu/esadocs/documnts/robipse.html> (Erişim Tarihi: 02 Ocak 2021).
- CORINE,** “Corine Land Cover”, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (Erişim Tarihi: 30 Temmuz 2018).
- Cradden, L., Kalogeri, C., Martinez Barrios, I., Galanis, G., Ingram, D. and, Kallos, G.,** 2016. Multi-criteria site selection for offshore renewable energy platforms. *Renew Energy*, 87:791–806pp.
- Cunliff, K.M.,** 1974, Trees for tomorrow. [*Parkinsonia aculeata* and *Pterocarya rehderiana*]. *Trees in South Africa*, 26(2): 51-54pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

ÇEKÜL, <https://7agac.cekulvakfi.org.tr/agaclar/yalanci-akasya-robinia-pseudo-acacia-l> (Erişim Tarihi: 05 Ocak 2021).

Dagar, J.C. and Tomar, O.S., 2002, Utilization of Salt Affected Soils & Poor Quality Waters for Sustainable Biosaline Agriculture in Arid and Semiarid Regions of India, 12th ISCO Conference Beijing.

Dayamba S.D., Djoudi H., Zida M., Sawadogo L. and Verchot, 2016, L. Biodiversity and carbon stocks in different land use types in the Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa, *Agric Ecosyst Environ.*, 216:61-72pp.

Dell'Ovo, M., Capolongo, S. and Oppio, A., 2018. Combining spatial analysis with MCDA for the siting of healthcare facilities. *Land Use Policy*, 76:634–644pp.

Demir, A., 2009, Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2): 37-54pp.

Demir, Ö., Atay,H., Eskiöglu, O., Tüvan, A., Demircan, M. ve Akçakaya, A., 2013. Temperature And Precipitation Projections According To RCP4.5 Scenario, III. Turkey Climate Change Conference (TİKDEK 2013), 3 - 5 June, 2013 İstanbul, Turkey (Turkish).

Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskiöglu, O., Tüvan, A. and Akçakaya, A., 2014a. Climate Change Projections for Turkey with New Scenarios. The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, October 8-10, Istanbul, Turkey.

Demircan, M., Demir,Ö., Atay, H., Eskiöglu, O., Tüvan, A., Gürkan., H. and Akçakaya, A., 2014b. Climate Change Projections in Turkey with New Scenarios, TUCAUM VIII. Geography Symposium, Ankara University Turkey Geography Research Center, October 23-24, 2014, Ankara, Turkey (Turkish).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demircan, M., Demir,Ö., Atay,H., Eskiöğlu, O., Tüvan, A., Gürkan., H. and Akçakaya, A.,** 2014c. Climate Change Projections in Turkey's River Basin with New Scenarios, TUCAUM VIII. Geography Symposium, Ankara University Turkey Geography Research Center, October 23-24, 2014, Ankara, Turkey (Turkish).
- Demircan, M., Gürkan, H., Arabacı, H. ve Coşkun, M.,** 2017. Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskiöğlu, O., Arabacı, H. and Coşkun, M.,** 2017. Climate Change Projections for Turkey:Three Models and Two Scenarios. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 1: 22-43pp.
- Dengiz, O., Gol, C., Sarioglu, F. E. and Edis, S.** 2010. Parametric approach to land evaluation for forest plantation: A methodological study using GIS model. *African Journal of Agricultural Research*, 5 (12): 1482-1496pp.
- Denhez, F.,** 2007, Küresel Isınma Atlası, İstanbul NTV Yayınları, ISBN:978-975-6690-68-0.
- Derak, M. and Cortina, J.,** 2014, Multi-criteria participative evaluation of Pinus halepensis plantations in a semiarid area of southeast Spain, *Ecol. Indic.*, 43: 56–68pp.
- Derviş, R.,** 2015, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) Yöntemi ile Lojistik Tesislerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tedarik ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara, 196s.
- Deshaprabhu, S.B.,** 1966, Wealth of India, Raw Materials, 7. New Delhi, India: CSIR.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dey, S.K.**, 2005, A Preliminary Estimation of Carbon Stock Sequestered Through Rubber (*Hevea Brasiliensis*) Plantation in North Eastern Regional of India, *Indian Forester*, 31(11): 1429–1435pp.
- Diaz-Balteiro, L. and Romero, C.**, 2008, Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment, *For. Ecol. Manag.*, 255, 3222–3241pp.
- Diaz-Balteiro, L., Alfranca, O., González-Pachón, J. and Romero, C.**, 2016, Ranking of industrial forest plantations in terms of sustainability: A multicriteria approach, *J. Environ. Manag.*, 180: 123–132pp.
- Diaz-Balteiro, L., González-Pachón, J. and Romero, C.**, 2017, Measuring systems sustainability with multi-criteria methods, *A critical review. Eur. J. Oper. Res.*, 258: 607–616pp.
- Dimmitt, M.A.**, 1987, The hybrid Palo Verde "Desert Museum": a new, superior tree for desert landscapes, *Desert Plants*, 8: 99-103pp.
- Doran, J.C. and Turnbull, J.W.**, 1997, Australian trees and shrubs: species for land rehabilitation and farm planting in the tropics. ACIAR Monograph no. 24, ACIAR, Canberra, Australia.
- Dönmez, Y.**, 1985, Bitki Coğrafyası. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Duke, J.A.**, 1983, “*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit”, https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Leucaena_leucocephala.html. In: El Bassam, N. (eds) Handbook of Energy Crops. (Erişim Tarihi: 03.12.2018).
- EarthData**, 2018, <https://search.earthdata.nasa.gov/search>. [Veritabanı], (Son Erişim Tarihi: 05 Temmuz 2018).
- Eastman, J.R.**, 2015, TerrSet Manual. Clark University.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Eastman, J.R., 2015b, TerrSet Tutorial. Clark University.

ECOCROP, 2020. “Crop Ecological Requirements Database (ECOCROP)”, <http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1027491/>. (Erişim Tarihi: 10 Ekim 2020).

EIA (Energy Information Administration), 2019. “Annual Energy Outlook 2019with projections to 2050”, <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/aeo2019.pdf>. (Erişim Tarihi: 10 Eylül 2019).

Eisikowitch, D. and Masad, Y., 1982, Preferences of honeybees for different ornamental nectar- yielding plants during the dearth period in Israel, *Bee World*, 63:77-82pp.

Eitzinger, A., Giang, L., Lefroy, R., Laderach, P. and Carmona, S., 2014, Ecocrop modeling Overview of climate variability and likely climate change impacts on agriculture across the Greater Mekong Sub-region (GMS). 10 – 11 March, 2014, Hanoi, Vietnam.

Eitzinger, A., Carmona, S., Argote, K., Laderach, P. and Jarvis, A., 2015, Climate impacts and resilience in Caribbean agriculture: Assessing the consequences of climate change on cocoa and tomato production in Trinidad & Tobago and Jamaica (CIRCA). University of West Indies.

El Bassam, N., 2010, Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications, Earthscan, ISBN: 978-1-84407-854-7, 516p.

Ellis, E.A., Bentrup, G. and Schoeneberger, M. M., 2004, Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs, *Agroforestry Systems*, 61: 401–421pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Enache, A., Kühmaier, M., Stampfer, K. and Ciobanu, V.D.,** 2013, An Integrative Decision Support Tool for Assessing Forest Road Options in a Mountainous Region in Romania, *Croat. J. For. Eng.*, 34: 43–60pp.
- Enache, A., Ciobanu, V.D. and Stampfer, K.,** 2015, Stakeholders’ perceptions regarding evaluation criteria of forest road options in romania, *Environ. Eng. Manag. J.*, 14: 1409–1421pp.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,** “Elektrik”, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>. (Erişim Tarihi: 23 Kasım 2020).
- Erinç, S.,** 1977. Vejetasyon Coğrafyası. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Erlat, E.,** 2014, İklim Sistemi ve İklim Değişimleri (5.Baskı). Ege Üniversitesi Yayınları. İzmir.
- ESRI LA (Living Atlas),** 2020, “Global Temperatures”, <https://experience.arcgis.com/>. (Erişim Tarihi: 13 Ekim 2020).
- Esri Türkiye,** 2020, CBS’ye Giriş ve Temel Uygulamalar: ArcGIS 1 ve 2 Eğitimi.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization,** https://www.eppo.int/ABOUT_EPPO/EPPO_MEMBERS/phytoreg/originals/PRE_TR_2016.pdf. (Erişim tarihi: 20 Nisan 2018).
- FAO, 2008,** Forests and energy: Key issues. Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Rome.
- FAO, 2020,** Crop Ecological Requirements Database (ECOCROP), <http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1027491/>. (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2020).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Felker, P., Clark, P.R., Osborn, J.F. and Cannell, G.H.,** 1982, Biomass estimation in a young stand of mesquite (*Prosopis* spp.), ironwood (*Oheya tesota*), palo verde (*Cercidium floridium*, and *Parkinsonia aculeata*), and leucaena (*Leucaena leucocephala*). *Journal of Range Management* 35(1): 87-89pp.
- Fick, S.E. and Hijmans, R.J.,** 2017, WorldClim 2: New 1-km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas, *International Journal Of Climatology*, 37: 4302–4315pp.
- Furphy, D.,** 2013. “What on earth is an RCP? A quick guide to carbon dioxide emissions scenarios used by the IPCC Assessment Report 5”, <https://medium.com/@davidfurphy/what-on-earth-is-an-rbp-bbb206ddee26>. (Erişim Tarihi: 12 Ekim 2020).
- Fürstenau, C., Badeck, F.W., Lasch, P., Lexer, M.J., Lindner, M., Mohr, P. and Suckow, F.,** 2007, Multiple-use forest management in consideration of climate change and the interests of stakeholder groups, *Eur. J. For. Res.*, 126: 225–239pp.
- Füssel, H.M. and Klein, R.J.T.,** 2006, Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking, *Clim. Change*, 75: 301–329pp.
- Gençkan, M.S.,** 1985, Çayır – Mer’a Kültürü, Amenajmanı, Islahı. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Gentry, H.,** 1963, The Warihio Indians of Sonora - Chihuahua: an ethnographic survey. Smithsonian Institute Bureau of American Ethnological Bulletin 186, Anthropology Papers 65.
- Ghasemi A.F.,** 2018, Soil Carbon Sequestration and Understory Plant under Needle and Broadleaved Plantations (Case Study: Shahed Forest Park of Malayer City). *ECOPERSIA*, 6(1): 1-10pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ginting, C.U., Djamin, A. and Hartanta,** 1995, Efficacy of several concentrations of the leaves of neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss) and mindi tree (*Melia azedarach* L.) against *Setothosea asigna* van Eecke. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 3(2): 119-125pp.
- Global Surface Water Explorer,** 2020. <https://global-surface-water.appspot.com/>
(Son Erişim Tarihi: 27 Aralık 2020)
- Greene, R., Luther, J.E., Devillers, R. and Eddy, B.,** 2010, An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape, *For. Ecol. Manag.*, 260: 2102–2114pp.
- Gregory, S.,** 1978, Statistical Methods and the Geographer, Taylor & Francis, ISBN: 9781315837185, 256p.
- Goodarzi, M., Ranjbar, M., and Bayramvand R.,** 2016, Assessing Carbon Sequestration Impacts of Sorkhehhesar in Relieving Climate Change Effects, *Iran J Watershed Mang Sci Eng.*, 10(34): 27-34pp.
- Grošelj, P., Hodges, D.G. and Zadnik S.,** 2015, L. Participatory and multi-criteria analysis for forest (ecosystem) management: A case study of Pohorje, Slovenia, *For. Policy Econ.*, 71: 80–86pp.
- Gumus, S.,** 2017, An Evaluation of Stakeholder Perception Differences in Forest Road Assessment Factors Using the Analytic Hierarchy Process (AHP), *Forests*, 8(165).
- Gündoğan, C.,** 2015, "Türkiye'nin Ulusal Katkı Niyet Beyanı (INDC) Değerlendirmesi", www.cemgundogan.com. (Erişim Tarihi: 5 Eylül 2020).
- Guo Q,** 2000, Climate Change and Biodiversity Conservation in the Great Plains, *Global Environmental Change*, 10(4): 289–298pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Guptai R.K.**, 1993, Multipurpose trees for agroforestry and wasteland utilization. New Delhi, India: Oxford & IBH.
- Güney, E., Bozyiğit, R., Meydan A., Kılıç T. ve Bulut İ.**, 2016, Çevrebilim (Ekoloji) Sözlüğü. Çizgi Kitabevi, Konya.
- Güngöroğlu, C.**, 2017, Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with the application of GIS: the case of Turkey/Çakırlar, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23: 388–406pp.
- Hakkila, P. and Parikka, M.**, 2002, Fuel Resources from the forest. In: Richardson J, Björheden R, Hakkila P, Lowe AT, Smith CT (eds) *Bioenergy from Sustainable Forestry, Guiding Principles and Practice*, Kluwer Academic Publishers, 344 pp.
- Hall, G.B., Wang F. and Subaryono**, 1992, Comparison of Boolean and Fuzzy Classification Methods in Land Suitability Analysis by Using Geographical Information Systems, *Environment and Planning A: Economy and Space*, 24(4): 497–516pp.
- Hanover, J.W., Mebrathu, T., Bloese, P.**, 1991, Genetic improvement of black locust: A prime agroforestry species, *Forestry Chronicle*, 67: 227–231pp.
- Hardy, T.L.**, 1994, Fuzzy Logic Approaches to Multi-Objective Decisionmaking in Aerospace Applications, NASA Technical Memorandum 30th joint propulsion conference sponsored by the American Institute of Aeronautics and Astronautics Colorado Springs.
- Haşlak, O.**, 2007, Küresel ısınmanın toprak ve bitkiler üzerine etkileri, Üniversite Öğrencileri 2. Çevre Sorunları Kongresi, Fatih Üniversitesi, 33-38pp.
- Hatfield, J.L. and Prueger, J.H.**, 2015, Temperature extremes: Effect on plant growth and development, *Weather and Climate Extremes*, 10: 4–10pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Heisey, R.M.**, 1990, Allelopathic and herbicidal effects of extracts from tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *American Journal of Botany*, 77(5): 662-670pp.
- Henderson, L.**, 2001, Alien Weeds and Invasive Plants. Plant Protection Research Institute Handbook No. 12. Cape Town, South Africa: Paarl Printers.
- Hengl, T., de Jesus, J.M., Heuvelink, G.B.M., Gonzalez, M.R., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B, Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., Kempen, B.**, 2016, SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE* 12(2).
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Cruz, M. and Rojas, E.**, 2001, Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data, 1. DIVA-GIS. Plant Genetic Res. Newsletter, 127: 15–19pp.
- Ho, W.**, 2008, Integrated analytic hierarchy process and its applications. A literature review, *European Journal of Operational Research*, 186(1): 211–228pp.
- Hocking, D.**, 1993, Trees for drylands. New Delhi, India: Oxford and IBH.
- Holland, E.A.**, 1997, Variations in the predicted spatial distribution of atmospheric nitrogen deposition and their impact on carbon uptake by terrestrial ecosystems, *Journal of Geophysical Research*, 102: 15849–15866pp.
- Howes, F.N.**, 1946. Fence and barrier plants in warm climates, *Kew Bulletin*, 2: 51-87pp.
- Hytönen, L.A., Leskinen, P. and Store, R.A.**, 2002, Spatial Approach to Participatory Planning in Forestry Decision Making, *Scand. J. For. Res.*, 17: 62–71pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Huang, P.**, 2002, Irrigation-Free Vegetation and It's Recovery in Arid Region, Science Press: Beijing, China, 15–50pp.
- Hughes, C.E.**, 1989, Intensive Study of Multipurpose Tree Genetic Resources: Final Report. Oxford, UK: Oxford Forestry Institute.
- Huntley, J.C.**, 1990. *Robinia pseudacacia* L. *Black locust*, In Burns, R.M., Honkala, B.H. (eds), *Silvics of North America Hardwoods*. Washington DC, USA.
- Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA)**, 2020, “Technical guide Short rotation coppice”, https://www6.inrae.fr/creff_eng/content/download/3268/33199/version/1/file/CREFF+SRC+technical+guideline.pdf. (Erişim tarihi: 09 Ekim 2020).
- IPCC, 1999**, Land Use, Land Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2006**, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Switzerland, 4, ISBN: 4-88788-032-4.
- IPCC**, “Definition of Terms Used within the DDC Pages”, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html> (Erişim Tarihi: 20 Mart 2019).
- Iyigun, C., Türkeş, M., Batmaz, I., Yozgatligil, C., Purutçuoğlu, V., Koç, E.K. and Öztürk, M.Z.**, 2013, Clustering Current Climate Regions of Turkey by Using a Multivariate Statistical Method, *Theoretical and Applied Climatology*, 114: 95–106pp.
- In Watershed Services (IWS)**, 1982, Physical and Mechanical Properties of Chinese Timbers. Beijing, China: Chinese Forestry Publishing House.
- International Union of Conservation Nature Redlist (IUCN Redlist)**, 2018, <http://www.iucnredlist.org>. (Erişim Tarihi: 20 Kasım 2018).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jain, R.K.**, 1994, Fuelwood characteristics of medium tree and shrub species of India. *Bioresource Technology*, 47: 81-84pp.
- James, N.D.G.**, 1981, A history of English forestry, Basil Blackwell Publisher, Oxford, U.K., 339 p.
- Jankowski, P.**, 1995, Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods, *International Journal of Geographical Information Science*, 9: 251–273pp.
- Jha, M.N., Gupta. M.K., Saxena. A. and Kumar. R.**, 2003, Soil Organic Carbon Store in Different Forests in India, *Indian Forester*, 129(6): 714–724pp.
- Jiang, H. and Eastman, J.R.**, 2000, Application of Fuzzy Measures in Multicriteria Evaluation in GIS, *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2): 173–184pp.
- Jubb, I., Canadell, P. and Dix, M.**, 2013, Representative Concentration Pathways (RCPs). Australian Climate Change Science Program.
- Kabak, Ö . and Ervural, B.**, 2017, Multiple attribute group decision making: A generic conceptual framework and a classification scheme, *Knowl.-Based Syst.*, 123: 13–30pp.
- Kamperidou, V., Lykidis, C. and Barmpoutis, P.**, 2018, Utilization of wood and bark of fast-growing hardwood species in energy production. *Journal of Forest Science*, 64(4): 164–170pp.
- Kangas, J. and Kuusipalo, J.**, 1993, Integrating biodiversity into forest management planning and decision-making, *For. Ecol. Manag.*, 61: 1–15pp.
- Kao, C.**, 2010, Fuzzy Data Standardization, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 18(4): 745–754pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kazana, V., Fawcett, R.H. and Mutch, W.E.S.**, 2003, A decision support modeling framework for multiple use forest management: The Queen Elizabeth forest case study in Scotland, *European Journal of Operational Research*, 148(1): 102–115pp.
- Keating, W.G. and Bolza, E.**, 1982, Characteristics, Properties and Uses of Timbers. Volume 1. South-east Asia, Northern Australia and the Pacific. Inkata Press, Melbourne, Australia.
- Keith, H., Lindenmayer, D., Mackey, B., Blair, D., Carter, L., McBurney, L., Okada, S. and Nagano, T.K.**, 2014, Managing Temperate Forests for Carbon Storage: Impacts of Logging Versus Forest Protection on Carbon Stocks, *Ecosphere.*, 5(6): 1-34pp.
- Kelly, P.M. and Adger, W.N.**, 2000, Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation, *Clim. Change*, 47: 325–352pp.
- Keresztesi, B.**, 1983, Breeding and cultivation of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary, *Forest Ecology and Management*, 6:217–244pp.
- Kijazi, M.H. and Kant, S.**, 2011, Social acceptability of alternative forest regimes in Mount Kilimanjaro, Tanzania, using stakeholder attitudes as metrics of uncertainty, *For. Policy Econ.*, 13: 242–257pp.
- Kleynhans, T., Coppin, P.R. and Queen, L.P.**, 1999, Geographic information system concepts for land management, *Development Southern Africa*, 16(3): 519–530pp.
- Kocataş, A.**, 2002, Ekoloji: Çevre Biyolojisi. Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kohm, K. and Franklin J.F.**, 1997, Creating a forestry for the 21st century, The science of ecosystem management, Island Press, Washington, 475p.
- Konsager, R., Napier, J., Mertz, O.**, 2013, The carbon sequestration potential of tree crop plantations. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 18:1197–1213.
- Konstantinos I., Georgios T. and Garyfalos A.**, 2019, A decision support system methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece, *Energy Policy*. 132: 232–246pp.
- Kowarik, I. and Säumel, I.**, 2007. Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. perspectives in plant ecology, *Evolution and Systematics*, 8(4):207-237pp.
- Kukrety, S., Jose, S. and Alavalapati, J.R.R.**, 2013, Exploring Stakeholders' Perceptions with Analytic Hierarchy Process- A Case Study of Red Sanders (*Pterocarpus santalinus* L.) Restoration in India, *Restor. Ecol.*, 21: 777–784pp.
- Kumar, A. and Roy, S.**, 2018, *Agrotechnology, Production, and Demonstration of High-Quality Planting Material for Biofuels in Arid and Semiarid Regions*, In Kumar, A., Ogita, S., Yau, Y. (eds), *Biofuels: Greenhouse Gas Mitigation and Global Warming Next Generation Biofuels and Role of Biotechnology*. Springer.
- Kühmaier, M. and Stampfer, K.**, 2012, Development of a Multi-Criteria Decision Support Tool for Energy Wood Supply Management, *Croat. J. For. Eng.*, 33: 181–198pp.
- Kühmaier, M., Kanzian, C. and Stampfer, K.**, 2014, Identification of potential energy wood terminal locations using a spatial multicriteria decision analysis, *Biomass and Bioenergy*, 66: 337–347pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Laderach, P. and Eitzinger, A.,** 2013, Ecocrop Suitability Modeling. Data Analysis Workshop and Adaptation Strategy Development. 4-6 June, Arusha Tanzania.
- Lakicevic, M., Srdjevic, Z., Srdjevic, B. and Zlatic, M.,** 2014, Decision making in urban forestry by using approval voting and multicriteria approval method (case study: Zvezdarska forest, Belgrade, Serbia), *Urban For. Urban Green.*, 13: 114–120pp.
- Lamb, D., Erskine, P.D. and Parrotta, J.A.,** 2005, Restoration of Degraded Tropical Forest Landscape, *Science*, 310: 1628–1632pp.
- Landsberg, J., Prince, S., Jarvis, P., McMurtrie, R., Luxmoore, R. and Medlyn, B.,** 1997, Energy conversion and use in forestry: an analysis of forest production in terms of radiation utilization efficiency. In: H.L. Gholz, K. Nakane & H. Shimoda, eds. The use of remote sensing in the modeling of forest productivity. London, UK, Kluwer Academic Publishers.
- Lane, A. and Jarvis, A.,** 2007, Changes in climate will modify the geography of crop suitability: Agricultural biodiversity can help with adaptation, *SAT eJournal*, 4(1): 1-12pp.
- Laukkanen, S., Palander, T. and Kangas, J.,** 2004, Applying voting theory in participatory decision support for sustainable timber harvesting, *Can. J. For. Res.*, 34: 1511–1524pp.
- Leskinen, P., Kangas, J. and Pasanen, A.M.,** 2003, Assessing ecological values with dependent explanatory variables in multi-criteria forest ecosystem management, *Ecol. Model.*, 170: 1–12pp.
- Lee, K.T., Han, B.H. and Cho, W.,** 1997, The appropriate mounding height and selection of ornamental trees on consideration of the environmental characteristics in an apartment complex. In the case of Sanggyoi-Dong sanitary landfill, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 11(2): 137-148pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lexer, M.J. and Seidl, R.,** 2009, Addressing biodiversity in a stakeholder-driven climate change vulnerability assessment of forest management, *For. Ecol. Manag.*, 258: 158–167pp.
- Liberatore, M.J. and Nydick, R.L.,** 2008, The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review, *European Journal of Operational Research*, 189(1): 194–207pp.
- Lin, L.J., Peiser, G., Ying, B.P., Mathias, K., Karasina, M.F., Wang, Z., Itatani, J., Green, L. and Hwang, Y.S.,** 1995, Identification of plant growth inhibitory principles in *Ailanthus altissima* and *Castela tortuosa*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(6): 1708-1711pp.
- Lo, C.P. and Yeung, A.K.W.,** 2002, Concepts and Techniques of Geographic Information Systems, Prentice Hall, New Jersey.
- Luna R.K.,** 1996, Plantation trees. Delhi, India: International Book Distributors.
- Lundmark, L., Pashkevich, A., Jansson, B. and Wiberg, U.,** 2008, Effects of climate change and extreme events on forest communities in the European North, *Clim. Change*, 87: 235–249pp.
- Lunnan, A., Stupak, I., Asikainen, A., Rasmussen, K.R.,** 2008, Introduction to sustainable Utilisation of Forest Energy. In: Dominik Röser, Antti Asikainen, Karsten Raulund-Rasmussen, Inge Stupak (eds) of Forest Biomass for Energy: A Synthesis with Focus on the Baltic and Nordic Region Sustainable Use, Springer, 1-8 pp.
- Maciver D.C. and Wheaton E.,** 2005, Tomorrow's forests: adapting to a changing climate, *Clim. Change*, 70: 273–282pp.
- Mahmoud A. and El-Sheikh, A.M.,** 1981, Germination of *Parkinsonia aculeata* L., *Journal of the College of Science University of Riyadh*, 12: 53-64pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Malczewski, J. and Ogryczak, W.**, 1996, The multiple criteria location problem: 2. Preference-based techniques and interactive decision support, *Environment and Planning A*, 28: 69–98pp.
- Malczewski, J.**, 2006, GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of literature, *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7): 703–726pp.
- Malczewski, J. and Rinner, C.**, 2015, Multicriteria decision analysis in geographic information science, *Advances in geographic information science*, Springer, ISBN: 978-3-540-74757-4, New York.
- Mamıkoğlu, N.G.**, 2017, Türkiye'nin Ağaçları ve Çalıları. Kırmızı Kedi Yayınevi. ISBN: 978-605-298-146-7.
- Marín-Spiotta, E. and Sharma, S.**, 2013, Carbon Storage in Successional and Plantation Forest Soils: A Tropical Analysis, *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 22(1): 105-117pp.
- Mau-Crimmins, T., De Steiguer, J.E. and Dennis, D.**, 2005, AHP as a means for improving public participation: A pre-post experiment with university students, *For. Policy Econ.*, 7: 501–514pp,
- Maxson, M.L.**, 2007, Fuzzy Logic Techniques Applied to a Switchgrass Ecological Site Suitability Model for the State of Mississippi, A Thesis for the Degree of Master of Science, Faculty of Mississippi State University Geographic Information Systems in the Department of Geosciences, UMI Number: 1451419, Mississippi.
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S.**, 2001, Climate change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability. Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Meloche., C. and Murphy, S.D.,** 2006. Managing tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*) in parks and protected areas: a case study of Rondeau Provincial Park (Ontario, Canada). *Environmental Management*, 37(6):764-772pp.
- Mendoza, G.A. and Prabhu, R.,** 2000, Development of a Methodology for Selecting Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management: A Case Study on Participatory Assessment, *Environ. Manag.*, 26: 659–673pp.
- Mendoza, G.A. and Martins,** 2006, H. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms, *For. Ecol. Manag.*, 230: 1–22pp.
- Mikkilä, M., Kolehmainen, O. and Pukkala, T.,** 2005, Multi-attribute assessment of acceptability of operations in the pulp and paper industries, *For. Policy Econ.*, 7: 227–243pp.
- Milimo, P.B.,** 1994, Mechanisms of drought resistance in *Melia volkensii* and *M. azedarach*. PhD thesis, Department of Forestry, Australian National University, Canberra.
- Milimo, P.,** 1995. Drought resistance in *Melia volkensii* and *M. azedarach*, *ACIAR Forestry Newsletter*, 20(3).
- Millar, C.I., Stephenson, N.L. and Stephens, S.L.,** 2007, Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty, *Ecol. Appl.*, 17: 2145–2151pp.
- Miller, I.L., Pickering, S.E.,** 1980, Parkinsonia, a noxious weed. Agnote, Department of Primary Production, Division of Agriculture and Stock, Australia.
- Millenium Ecosystem Assessment,** 2005, Ecosystems and wellbeing: synthesis, Island, Washington.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mirzaei, J., Moradi M. and Seyedi, F.,** 2016, Carbon Sequestration in the Leaf, Litter and Soil of Eucalyptus Camaldulensis, Prosopis Juliflora and Ziziphus Spina-christi Species. *ECOPERSI*, 4(3): 1481-1491pp.
- Mohren, G.M.J.,** 2003, Large-scale scenario analysis in forest ecology and forest management, *Forest Policy and Economics*, 5(2): 101–206pp.
- Moser,** 2011, *Biodiesel Production, Properties, and Feedstocks*, In: Lakshmanan, P., Songstad, D. (eds) *Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 45: 229–266pp.
- Mu, E. and Pereyra-Rojas, M.,** 2017, Understanding the analytic hierarchy process. In: Mu E, Pereyra-Rojas M (eds) *Practical decision making: an introduction to the analytic hierarchy process (AHP) using super decisions*, Springer, Berlin, 7–22pp.
- Nair, P.K.R.,** 2001, In: *Our Fragile World: Challenges and Opportunities for Sustainable Development*, Forerunner to The Encyclopedia of Life Support Systems, *Agroforestry*, 375–393pp. Paris, France, & EOLSS, UK.
- NASA GCC-VSP (Global Climate Change-Vital Signs of the Planet),** 2020, “Global Temperature”. <https://climate.nasa.gov/>. (Erişim Tarihi: 13 Ekim 2020).
- Nordhaus, W.,** 2020. İklim Kumarı: Isınan Dünyada Risk, Belirsizlik ve İktisat. Doğan Kitap, İstanbul.
- NTV,** 2020, <https://www.ntv.com.tr/turkiye/2019da-2-bin-orman-yangini-cikti-11-bin-hektar-alan-kul-oldu,PDTyrTJNG0iWnaAoId1B7Q> (Erişim Tarihi: 25 Aralık 2020).
- NASA's Jet Propulsion Laboratory - California Institute of Technology,** 2018, Global climate change: Vital signs of the planet, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>. (Erişim Tarihi: 16 Mart 2018).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- National Research Council**, 1980a, Firewood Crops: Shrub and Tree Species for Energy Production Vol 2. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21317>.
- National Research Council**, 1980b, Firewood Crops: Shrub and Tree Species for Energy Production Vol 1. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21317>.
- Nitschke, C.R. and Innes, J.L.**, 2008, Integrating climate change into forest management in South-Central British Columbia: an assessment of landscape vulnerability and development of a climate-smart framework, *For. Ecol. Manag.*, 256: 313–327pp.
- O’Brien, K., Sygna, L. and Haugen, J.E.**, 2004a, A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway, *Clim. Change*, 64: 193–225pp.
- O’Brien, K., Eriksen, S., Schjolden, A. and Nygaard L.**, 2004b, What’s in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research. CICERO Working Paper 2004:04, Center for International Climate and Environmental Research, Oslo.
- Oliver, I., Jones, H. and Schmoldt, D.L.**, 2007, Expert panel assessment of attributes for natural variability benchmarks for biodiversity, *Austral Ecol.*, 32: 453–475pp.
- Ortiz-Urbina, E., González-Pachón, J. and Diaz-Balteiro, L.**, 2019, Decision-Making in Forestry: A Review of the Hybridisation of Multiple Criteria and Group Decision-Making Methods, *Forests*, 10(375).
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. and Simons, A.**, 2009, Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ömürbek, N., Üstündağ, S. ve Helvacıoğlu, Ö.,** 2013. Kuruluş yeri seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanımı: Isparta bölgesinde bir uygulama. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11 (21), 101-116.
- Öztürk, K.,** 2002, Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1): 47-65pp.
- Ozturk, T., Turp, M.T., Türkeş M., Kurnaz, M.L.,** 2016. Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5, *Atmospheric Research*, 183: 296–307pp.
- Parkins, J.R. and MacKendrick, N.A.,** 2007, Assessing community vulnerability: a study of the mountain pine beetle outbreak in British Columbia, Canada, *Glob. Environ. Change*, 17: 460–471pp.
- Parsons, W.T. and Cuthbertson, E.G.,** 1992, Noxious Weeds of Australia. Melbourne, Australia: Inkata Press.
- Pennington, T.D., Styles, B.T. and Taylor, D.A.H.,** 1981, A monograph of neotropical *Meliaceae* (with accounts of the subfamily *Swietenioideae* by B.T. Styles and the chemotaxonomy by D.A.H. Taylor). *Flora Neotropica* New York, US: The New York Botanical Gardens. No. 2.
- Peterson, B.J. and Melillo, J.M.,** 1985, The potential storage of carbon caused by eutrophication of the biosphere, *Tellus*, 37B: 117–127pp.
- Perez-Arbelaes, E.,** 1957, Useful plants of Colombia Bambuseae. *Mater. Veg*, 2 (2): 102-11pp.
- Phua, M.-H. and Minowa, M.,** 2005, A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: A case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia, *Landsc. Urban Plan.*, 71, 207–222pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- PIER**, 2013. Pacific Islands Ecosystems at Risk. Honolulu, Hawaii, USA: HEAR, University of Hawaii.
- PIXABAY**, <https://pixabay.com/tr/populus-euphratica-orman-1041364/> (Erişim Tarihi 12 Aralık 2018).
- Plants For A Future (PFAF)**, <https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Populus+euphratica> (Erişim tarihi 03 Aralık 2018).
- Potter, W.D., Liu, S., Deng, X. and Rauscher, H.M.**, 2000, Using DCOM to support interoperability in forest ecosystem management decision support systems, *Computers and Electronics in Agriculture*, 27: 335–354pp.
- Potvin C., Mancilla L., Buchmann N., Monteza J., Moore T., Murphy M., Oelmann, Y., Scherer-Lorenzen, M., Turner, B.L., Wilcke, W., Zeugin, F. and Wolf, S.**, An Ecosystem Approach to Biodiversity Effects: Carbon Pools in a Tropical Tree Plantation, *Forest Ecology and Management*, 261(10): 1614-1624pp.
- Pukkala, T.**, 1998, Multiple risks in multi-objective forest planning: Integration and importance, *For. Ecol. Manag.*, 111: 265–284pp.
- Rajaram, N. and Janardhanan, K.**, 1991, Studies on the underexploited tree pulses, *Acacia catechu* Willd., *Parkinsonia aculeata* L. and *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz: chemical composition and antinutritional factors. *Food Chemistry*, 42(3): 265-273pp.
- Ramirez-Villegas, J., Jarvis, A. and Laderach, P.**, 2013, Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*, doi: 10.1016/j.agrformet.2011.09.005.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rebbeck, J., Hutchinson, T.F., and Iverson, L.R.,** 2019. Effects of prescribed fire and stem-injection herbicide on *Ailanthus altissima* demographics and survival. *Forest Ecology and Management*, 439: 12-31pp.
- Redei, K.,** 1999, Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) energy plantations in Hungary, *Silva Gandavensis*, 64: 37-44pp.
- Redei, K., Csiha, I. and Keserü, Z.,** 2011, Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Short-rotation crops under marginal site conditions. *Acta Silv. Lign. Hung.*, 7: 125–132pp.
- Regan, H.M., Davis, F.W., Andelman, S.J., Widyanata, A. and Freese, M.,** 2007, Comprehensive criteria for biodiversity evaluation in conservation planning, *Biodivers. Conserv.*, 16: 2715–2728pp.
- Reside, A.E., VanDerWal, J. and Moran, C.,** 2017, Trade-offs in Carbon Storage and Biodiversity Conservation under Climate Change Reveal Risk to Endemic Species, *Biol Conserv.*, 207: 9-16pp.
- Reynolds, K.M., Thomson, A.J., Köhl, M., Shannon, M.A., Ray D. and Rennolls, K.,** 2007, Sustainable forestry. From monitoring and modelling to knowledge management and policy science, CAB International, Wallingford, UK, 527 pp.
- Rockwood, D.L., Kirst, M., Isebrands, J.G. and Zhu, J.Y.,** 2012, *Forest Trees*. In Kole, C., Joshi, C.P., Shonnard, D.R. (eds), Handbook of Bioenergy Crop Plants. Taylor and Francis, ISBN -13:978-1-4398-1685-1.
- Röser, D., Asikainen, A., Stupak, I. and Pasanen, K.,** 2008, Forest Energy Resources And Potentials. In: Dominik Röser, Antti Asikainen, Karsten Raulund-Rasmussen, Inge Stupak (eds) of Forest Biomass for Energy: A Synthesis with Focus on the Baltic and Nordic Region Sustainable Use, Springer, 9-26 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ruark G.A., Schoeneberger M.M. and Nair P.K.R.**, 2003, Agro forestry – Helping to Achieve Sustainable Forest Management. UNFF (United Nations Forum for Forests) Intersessional Experts Meeting on the Role of Planted Forests in Sustainable Forest Management, New Zealand. pp. 1–13.
- Rüger, N., Schlüter, M. and Matthies, M.**, 2005. A fuzzy habitat suitability index for *Populus euphratica* in the Northern Amudarya delta (Uzbekistan). *Ecological Modelling*, 184: 313-328pp.
- Saaty, T.L.**, 1980, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L.**, 1986, Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process, *Management Science*, 32: 841–855pp.
- Saaty R.W.**, 1987, The analytic hierarchy process-what it is and how it is used, *Math Model* 9: 161–176pp.
- Sarkar, P.K., Das, B. and Bhatt B.P.**, 2017, Bakam (*melia azedarach* l.): a Promising Agroforestry Species for Improving Livelihood to Farmers of Eastern Plateau and Hill Region of India, *The Bioscan*, 12(2): 1095-1100pp.
- Sarptas, H., Alpaslan, N. and Dolgen, D.**, 2005. GIS supported solid waste management in coastal areas. *Water Sci Technol*, 51:213–220pp.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araújo, M.B., Arnell, N.W., Bondeau A., Bugmann, H., Carter, T.R., Gracia, C.A., De La Vega-Leinert, A.C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Lavorel, S., Lindner, M., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T.D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabate, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S. and Zierl, B.**, 2005, Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe, *Science*, 310: 1333–1337pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Segura, M., Maroto, C., Belton, V. and Ginestar, C.,** 2015, A New Collaborative Methodology for Assessment and Management of Ecosystem Services, *Forests*, 6: 1696–1720pp.
- Seidl, R., Rammer, W. and Lexer, M.J.,** 2001, Climate change vulnerability of sustainable forest management in the Eastern Alps, *Clim. Chang.*, 106: 225–254pp.
- Seidl R., Schelhaas M.J., Lindern M. and Lexer M.J.,** 2009, Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies, *Reg. Environ. Change*, 9: 101–119pp.
- Seifert, T., Ackerman, P., Chirwa, P.W., von Doderer, C., du Toit, B., Görgens, J., Ham, C., Kunneke, A. and Meincken, M.,** 2014. Biomass from Wood in the Tropics. In: *Bioenergy from Wood: Sustainable Production in the Tropics*, Springer, ISBN: 978-94-007-7447-6, 266p.
- Shamsi, U.M.,** 2005, GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems, CRC Press, Boca Raton.
- Sheikh, M.A., Kumar, M. and Bussmann, R.W.,** 2009, Altitudinal Variation in Soil Organic Carbon Stock in Coniferous Subtropical and Broadleaf Temperate Forests in Garhwal Himalaya, *Carbon Balance Management*, 4:6.
- Sheikh, M.A., Kumar, M. and Todaria, N.P.,** 2015, Carbon Sequestration Potential of Nitrogen-Fixing Tree Stands, *De Gruyter Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused*, 62: 39–47pp.
- Shutterstock,** <https://www.shutterstock.com/tr/video/clip-7683781-inner-mongolia-china-populus-euphratica>. (Erişim Tarihi: 11 Aralık 2018).
- Singh S.P.,** 1989, Wasteland development. New Delhi, India: Agricole.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Singh, Y., Singh, G. and Sharma, D.K.,** 2015, *Afforestation of Salt-affected Marginal Lands with Indigenous Tree Species for Sustainable Biomass and Bioenergy Production*. In Bhardwaj, A.K., Zenone, T., Chen J. (eds), *Sustainable Biofuels: An Ecological Assessment of the Future Energy*, Higher Education Press and Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, ISBN 978-3-11-027584-1.
- Siren, G., Perttu, K., Eckersten, H., Linder, S., Christersson, L. and SennerbyForsse, L.,** 1983, The energy Forestry ProLect. NE:1983:11, Stockholm, Sweden, Swedish Board of Energy, (English summary).
- Snell, H.S.K., Robinson, D. and Midwood A.J.,** 2016, Tree Species' Influences on Soil Carbon Dynamics Revealed with Natural Abundance ¹³C Techniques, *Plant Soil*, 400(1-2): 285-296pp.
- Soilgrids,** 2018, <https://soilgrids.org>. [Veritabanı], (Erişim Tarihi: 06 Haziran 2018).
- Son, Y.M., Kim, S.W., Lee, S.J. and Kim, J.S.,** 2014, Estimation of Stand Yield and Carbon Stock for *Robinia pseudoacacia* Stands in Korea, *J. Korean Forest Soc.*, 103(2): 264–269pp.
- Sprent, J.I.,** 1987, Potentials for nitrogen fixing legume trees in the tropics. *International Tree Crops Journal*, 4(1): 49-55pp.
- Srdjevic, Z., Lakicevic, M. and Srdjevic, B.,** 2013, Approach of Decision Making Based on the Analytic Hierarchy Process for Urban Landscape Management, *Environ. Manag.*, 51: 777–785pp.
- Standley, P.C. and Steyermark, J.A.,** 1937, *Flora of Guatemala*. Chicago, USA: Field Museum of Natural History, Fieldiana 24, Part 5.
- Starr, F., Starr, K., Loope, L.,** 2003. *Parkinsonia aculeata*. Plants of Hawaii reports.

http://www.hear.org/starr/hiplants/reports/html/parkinsonia_aculeata.htm

(Son Erişim Tarihi: 28 Aralık 2021).

Stavarache, C.E., Morris, J., Maeda, Y., Oyane, I. and Vinatoru, V., 2008, Syringa (Melia azedarach L.) berries oil: A potential source for biodiesel fuel. *Rev. Chim.*, 59(6).

Stewart, J.L., Dunsdon, A.J., Hellin, J.J. and Hughes, C.E., 1992, Wood biomass estimation of Central American dry zone trees. Tropical Forestry Papers 26. Oxford, UK: Oxford Forestry Institute.

Strager, M.P. and Rosenberger, R.S., 2006, Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA, *Ecol. Econ.*, 58: 79–92pp.

Store, R. and Kangas, J., 2001, Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling, *Landsc. Urban Plan.*, 55: 79–93pp.

Strandgard, M., Alan, M. and Mitchell, R., 2014, Impact of Slope on Productivity of a Self-levelling Processor. *Croat. j. for. eng.* 35(2): 193-200pp.

Stringer, J.W. and Carpenter, S.B., 1986, Energy yield of black locust biomass fuel. *Forest Science*, 32 (4), 1049–1057pp.

Tans, P. and Keeling, R., “Trends in Atmospheric Carbon Dioxide”, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html> (Erişim Tarihi: 23 Kasım 2020).

Tarım ve Orman Bakanlığı, “Corine Projesi”, <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/> (Erişim Tarihi: 05 Ocak 2019).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- TÇV (Türkiye Çevre Vakfı)**, 2005, Türkiye'nin Biyolojik Zenginlikleri. Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara. 328 sayfa.
- Tecle, A., Shrestha, B. and Duckstein, L.A.**, 1998, Multiobjective Decision Support System for Multiresource Forest Management, *Group Decis. Negot.*, 7: 23–40pp.
- Temiz, N. and Tecim, V.**, 2016, The use of GIS and multi-criteria decision-making as a decision tool in forestry, *Operational Research Society (OR Insight)*, 22(2): 105–123pp.
- Thevs, N., Buras, A., Zerbe, S., Kühnel, E., Abdusalih, N. and Ovezberdiyeva, A.**, 2012, Structure and wood biomass of near-natural floodplain forests along the Central Asian Rivers Tarim and Amu Darya. *Forestry*, 85: 193–202pp.
- Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E. and Edmonds, J.A.**, 2011, RCP4.5: a Pathway for Stabilization of Radiative Forcing by 2100, *Climatic Change* 109(77).
- Thonner, F.R.**, 1915, The Flowering Plants of Africa. London, UK: Dulau & Co.
- Tikkanen, J., Isokääntä, T., Pykäläinen, J. and Leskinen, P.**, 2006, Applying cognitive mapping approach to explore the objective-structure of forest owners in a Northern Finnish case area, *For. Policy Econ.*, 9: 139–152pp.
- Townsend, A., Braswell, B.H. and Holland, E.A.**, 1996, Spatial and temporal patterns in terrestrial carbon storage due to deposition of anthropogenic nitrogen, *Ecological Applications*, 6: 806–814pp.
- Troup, R.S. and Joshi, H.B.**, 1981, Troup's The Silviculture of Indian Trees. Volume III. Delhi, India.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Troup, R.S., Joshi, H.B.,** 1983, The Silviculture of Indian Trees. Vol IV. *Leguminosae*. Delhi, India; Controller of Publications.
- Turp, M.T., Ozturk, T., Türkeş M. and Kurnaz, M.L.,** 2014. Investigation of projected changes for near future air temperature and precipitation climatology of Turkey and surrounding regions by using the Regional Climate Model RegCM4.3.5, *Aegean Geographical Journal*, 23: 1-24pp.
- Turp, M.T., Öztürk, T., Türkeş, M. and Kurnaz, M.L.,** 2015. Assessment of projected changes in air temperature and precipitation over the Mediterranean region via multi-model ensemble mean of CMIP5 models. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 93-96pp.
- Türkeş, M., Sümer, U.M. ve Çetiner, G.,** 2000, Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, İstanbul Sanayi Odası, 7-24, ÇKÖK Gn. Md., 13 Nisan, Ankara.
- Türkeş, M.,** 2007, “Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler”. 1. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007, 11 - 13 Nisan 2007, İTÜ, İstanbul.
- Türkeş, M.,** 2008, “İklim Değişikliği ve Küresel Isınma Olgusu: Bilimsel Değerlendirme”. Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi. Eds: Karakaya, E., İstanbul: Bağlam Yayınları.
- Türkeş, M., Şen, Ö.L., Kurnaz, L., Madra, Ö. ve Şahin, Ü.,** 2013, İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu, İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi.
- Türkeş, M.,** 2015, Biyocoğrafya: Bir Paleocoğrafya ve Ekoloji Yaklaşımı. Kriter Yayınları, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Türkeş, M.**, 2016, Genel Klimatoloji: Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri (Birinci Baskı), Kriter Yayınları, İstanbul.
- Türkeş, M. ve Mutlu, Ö.E.**, 2018, IPCC 1.5°C Küresel Isınma Özel Raporu ve Türkiye’ye Etkileri, TEMA Vakfı Yayınları.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)**, “2020 Seragazı Emisyon Envanteri”, www.tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2020).
- Türkiye Tohumcular Birliği (Türktob)**, 2012, “Bitkiler için pH aralıkları”, <http://www.turktob.org.tr/tr/bitkiler-icin-toprak-ph-araliklari/5022>, (Erişim Tarihi: 10 Temmuz 2018).
- TÜVİBES**, http://www.tubives.com/index.php?sayfa=1&tax_id=2316 (Erişim tarihi: 02 Mart 2018).
- Uludağ, A.S. ve Deveci M.E.**, 2013, Kuruluş Yeri Seçim Problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama, *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13(1): 257–287pp.
- UNFCCC**, 2015, "Nationally Determined Contributions", <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>. (Erişim Tarihi: 06 Eylül 2020).
- Uribe, D., Geneletti, D., F. del Castillo, R. And Orsi, F.**, 2014, Integrating Stakeholder Preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities, *Sustainability*, 6: 935–951pp.
- Wang, H., Liu, S., Wang, J., Shi, Z., Lu, L., Zeng J., Ming, A., Tang, J. And Yu, H.**, 2013, Effects of Tree Species Mixture on Soil Organic Carbon Stocks and Greenhouse Gas Fluxes in Subtropical Plantations in China, *Forest Ecology and Management*, 300: 4-13pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wang, Z. and Du, X., 2016,** Monitoring Natural World Heritage Sites: Optimization of the monitoring system in Bogda with GIS-based multi-criteria decision analysis, *Environ. Monit. Assess.*, 188(384).
- Watanabe, H., Sahunalu, P. and Khemnark, C., 1988,** Combinations of trees and crops in the taungya method as applied in Thailand. *Agroforestry Systems* 6(2): 169-177pp.
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C. and Moss, R.H., 1996,** Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge.
- Webb D.B., Wood, P.J., Smith, J.P. and Henman, G.S., 1984,** A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. Tropical Forestry Papers, No. 15. Oxford, UK: Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford.
- Weber, E., 2003.** Invasive Plant Species of the World. A Reference Guide to Environmental Weeds. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Wikipedia, 2018a,** https://en.wikipedia.org/wiki/Leucaena_leucocephala, (Erişim Tarihi: 25 Kasım 2018).
- Wikipedia, 2018b,** https://en.wikipedia.org/wiki/Melia_azedarach, (Erişim Tarihi: 26 Kasım 2018).
- Wikipedia,** 2020, https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%E2%80%99de_sera_gaz%C4%B1_emisyonu#cite_note-T%C3%9C%C4%B0K_rapor_2019,_s._22-2 (Erişim Tarihi: 26 Aralık 2020).
- Wood Database,** <https://www.wood-database.com>, (Erişim Tarihi: 05 Aralık 2018).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

World Agroforestry Centre, “The Agroforestry Species Switchboard”, <http://www.worldagroforestry.org/products/switchboard/> (Erişim tarihi: 10 Ekim 2020).

World Agroforestry, http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Populus_euphratica.PDF, (Erişim tarihi: 01 Aralık 2018).

World Agroforestry Database, <http://db.worldagroforestry.org>, (Erişim Tarihi: 30 Kasım 2018).

Worldclim, “Worldclim dataset”, <https://www.worldclim.org/> (Erişim Tarihi: 12 Ekim 2020).

Vacik, H. and Lexer, M.J., 2001, Application of a spatial decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources, *For. Ecol. Manag.*, 143: 65–76pp.

Valente, R.A. and Petean, F.C.S., 2017, Vettorazzi, C.A. Multicriteria Decision Analysis for Prioritizing Areas for Forest Restoration, *Cerne*, 23: 53–60pp.

van Vliet, O.P.R., Faaij, A.P.C. and Dieperink, C., 2003, Forestry Projects under the Clean Development Mechanism Modelling of the Uncertainties in Carbon Mitigation and Related Costs of Plantation Forestry Projects, *Climatic Change*, 61: 123–156pp.

van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K., 2011, The Representative Concentration Pathways: an Overview, *Climate Change*, 109(5).

Vassilev, V., Genova, K. and Vassileva, M., 2005, A brief survey of multicriteria decision making methods and software systems, *Cybernetics and Information Technologies*, 5(1): 3–13pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Verma, R.K., Singh, Y., Soni K.K. and Jamaluddin,** 2005. Solarization of forest nursery soil for elimination of root pathogens and weeds. *Indian Journal of Tropical Biodiversity*, 13(2):81-86pp.
- Yalçın, A.,** 2008, GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations, *CATENA*, 72: 1–12pp.
- Yesilnacar, M.I. and Cetin, H.,** 2005 Site selection for hazardous wastes: a case study from the GAP area, Turkey. *Eng Geol*, 81:371–388pp.
- Zadeh, L.A.,** 1965, Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8(3): 338-353pp.
- Zadnik S.L.,** 2006, Integrating the fuzzy analytic hierarchy process with dynamic programming approach for determining the optimal forest management decisions, *Ecol. Model.*, 194: 296–305pp.
- Zhang, Z., Sherman, R., Yang, Z., Wu, R., Wang, W., Yin, M., Yang, G. And Ou, X.,** 2013, Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China, *J. Nat. Conserv.*, 21: 225–240pp.
- Zheng, W.J.,** 1978, *Silviculture of Chinese Trees*. Beijing, China: China Agriculture Press.

TEŞEKKÜR

Tüm çabalarım ile gerçekleştirdiğim doktora tezimi, öncelikle dünyada tüm zorluklara göğüs geren, hep bir umutla bilim yapmaya çalışan; karşılığını bulmasa da yapacağı her çalışmanın bu dünyada hoş bir sada bırakacağını bilen, eğilip bükülmeyen, insanlara koşulsuz yardım eden, mütevazî ama bilgi ve ilim ışığı ile çevresine aydınlık veren tüm bilim insanı meslektaşlarıma adıyorum.

Yaptığım tüm çalışmaları her tez izleme toplantısında ve dışında ilgi ile takip eden, beni yönlendiren ve doğru yolu gösteren başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan SARPTAŞ olmak üzere tez izleme hocalarım Prof. Dr. Aynur GÜREL ve Prof. Dr. Hülya BOYACIOĞLU hocalarıma bana güvendikleri ve pek çok değerli çalışmalarında bana çalışma imkânı sundukları, zaman ayırdıkları ve emekleri için minnettarlığımı sunarım. Tez çalışmamda ait tez izleme toplantıları öncesi ve sonrasında araştırmalarımı ve bulgularımı yakından takip eden, model ağaçların seçimine yönelik fikirleri ile bana değerli katkılarda bulunan Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü'nden Dr. Hidayet KARAKURT hocama içtenlikle teşekkür ederim. Tez çalışmam ile ilgili olarak veri tabanlarından yararlandığım uluslararası kurumlara (ISRIC, NASA, ESA, Worldclim) ve tüm dünya genelinde önemli bilimsel çalışmalarda yararlanan yazılımların üreticilerine (ESRI, Clark Labs, R Core Team), dünyaya sundukları bu değerli katkıları için ayrıca teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarda onunla bilimsel araştırmalar yapmanın büyük bir mutluluk olduğunu düşündüğüm ve bana bilgi ışığı ile katkıda bulunan hocam Prof. Dr. Ecmel ERLAT'a; birlikte çalışma imkânı bulduğum, bilimsel disiplini ile bana yeni araştırma ufukları sunan Doç. Dr. Aynur DEMİR hocama ve bilimsel araştırmalarımın sonsuz güven duyan Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Yıllar boyunca çatısı altında bilim yaptığım ve lisanstan doktora aşamasına kadar onlardan pek çok ders alarak dimağımı geliştirdiğim değerli Ege Üniversitesi mensubu hocalarıma ve bana eğitim sürecimin her aşamasında farklı yetenekler kazandıran sevgili ilkokul ve lise öğretmenlerime saygılarımı sunarım. Doktora aşamasında bana her koşulda yardımcı olan enstitü çalışanlarımıza ise ayrıca teşekkür ederim.

Lise, üniversite, yüksek lisans ve doktora hayatımın tüm zorluklarına rağmen bana mutluluk dolu bir aile ortamı sunan, her koşulda yanımda duran ve tecrübeleri ile katkıda bulunan, sevgi dolu annem Maliyecim Zayde, canım Başkomiser'im babam Nedim, biricik karındaşım Mert, eşi sevgili Sedef ve uzak diyarlardaki Çipil'e en derin şükranlarımı sunarım. Onların yaşadığı gururun benim için tüm bu başarılarından daha öte olduğunu ayrıca belirtmek isterim.

Doktora sürecimin zorluklarına tanık olan, çabalarımı takdir eden ve benimle gurur duyan eşimin sevgili annesi Birgül, sevgili babası Oktay ve sevgili kardeşi Kaya'ya onlara bu başarıyı yaşatma mutluluğu ve tüm sevgim ile teşekkür ederim.

Taşındığım bu yeni şehirde beni yalnız bırakmayan eşimin arkadaşları TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi uzmanları dostlarıma, Lisansüstü eğitimi aldığım dönemde Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde tanıdığım ve kardeş gibi bağ kurduğum sevgili dostlarıma, Ege Üniversitesi Fizik bölümünden bana kalan en değerli arkadaşlarıma ve neredeyse hayatımın yarı yolunda benimle olan Yunus Emre Anadolu Lisesi'nden kardeş gibi olduğum dostlarıma benim yanımda oldukları, dertlerimi ve sevinçlerimi paylaştıkları ve çoğu ile farklı şehirlerde de olsak yakındaymışız gibi hissettirdikleri için teşekkürü bir borç bilirim.

Ve belki de en değerli teşekkürü hak eden, benimle aynı yolda yürüyen, dertlerimi paylaşan, beni ayakta tutan, çabalarımın en büyük destekçisi ve her daim yanımda olan sevgili meslektaşım, değerli bilim insanı eşim TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi Uzman Araştırmacısı Dr. Ekrem KANDEMİR'e ve kurduğumuz bu güzel çekirdek ailemize tüm kalbim ve en derin sevgim ile teşekkürlerimi sunarım.

24.12.2020

Fulya KANDEMİR

CV

**FULYA (AYDIN)
KANDEMİR**

Öğrenim Bilgileri

27 Ocak 2016 – 24 Aralık 2020 (4 yıl 11 ay) Doktora, Tezli Program, EGE ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, ENERJİ TEKNOLOJİSİ, Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Sarptaş. Tez Adı: CBS ve UZ-AL Desteği ile CO₂ Emisyonunun Azaltılması için Enerji Ormancılığı Alanlarının Belirlenmesi ve İklim Değişikliğinin Enerji Ormancılığına Etkisinin İncelenmesi.

04 Eylül 2013 - 21 Aralık 2015 (2 yıl 4 ay), Yüksek Lisans, Tezli Program, EGE ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, ENERJİ TEKNOLOJİSİ, Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 4.0 / 4.0, Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Sarptaş. Tez Adı: Enerji Bitkisi Yetiştirilebilecek Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Desteği ile Tespiti

01 Eylül 2009 - 05 Temmuz 2013 (3 yıl 11 ay), Lisans, EGE ÜNİVERSİTESİ, FEN FAKÜLTESİ, FİZİK BÖLÜMÜ Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 3.63 / 4.0 (Bölüm Birincisi - Yüksek Onur Öğrencisi)

**Deneyim/İşyeri
Bilgileri**

01 Eylül 2016 - 01 Kasım 2016 (3 ay) (Tam Zamanlı), UZMAN, EGE ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜ

Yabancı Dil Bilgileri

İNGİLİZCE (Okuma: İyi, Yazma: İyi, Konuşma: İyi) - YÖKDİL Puanı: 92 / YDS Puanı: 75

ALMANCA (Okuma: İyi, Yazma: İyi, Konuşma: İyi) - Sprachdiplom C1

Faaliyet Alanları

- Alternatif Enerji Kaynakları - Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, Enerji Tesisi Yer Seçimi, Çok Kriterli Karar Analizi, Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Tespiti.
- Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama.
- Arazi Kullanım Modeli - Arazi Kullanım Değişikliklerinin İncelenmesi ve Gelecek Tahminlemeleri.
- İklim - İklim Değişikliği Etkilerinin İncelenmesi, Risk Analizi, Adaptasyon Çalışmaları, Gelecek Tahminlemeleri.

Ar-Ge & Yetkinlik**Kitaplar**

M. S. ÇELİKTAŞ, F. AYDIN, Biyokütle Enerji Teknolojileri Kış Okulu Ders Notları, ISBN: 978-605-338-000-9, TÜRKİYE: Ege Üniversitesi, 12Aralık 2014.

Makaleler

(SCI, E-SCI,
ULAKBİM ve Diğer)

H. KANDEMİR, F. AYDIN-KANDEMİR, B. GÜLER, A. GÜREL, Soğuk Plazma Teknolojisi ve Tarımdaki Çeşitli Uygulama Alanları, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, (basımda).

F. AYDIN-KANDEMİR, 2020. Analysing seawater solar desalination feasibility across Africa using GIS. Novum Intel, “<https://novumintel.com/2020/08/18/water-scarcity-in-africa-analysis-of-seawater-solar-desalination-applicability-by-gis/>”.

F. AYDIN-KANDEMİR, 2020. Water Scarcity in Africa: Analysis of Seawater Solar Desalination (SWSD) Applicability by GIS. The Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR), “https://cgiarcsi.community/wp-content/uploads/2020/07/ESRI-Young-Scholar-2020_Fulya-Aydin-Kandemir_Project.pdf”.

Makaleler
(devamı)

F. AYDIN, E. ERLAT, M. TÜRKEŞ, 2020. Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016, Regional Environmental Change, DOI: 10.1007/s10113-020-01656-z.

F. AYDIN, H. SARPTAŞ, 2019. Spatial assessment of site suitability for solar desalination plants: a case study of the coastal regions of Turkey, Clean Technologies and Environmental Policy, DOI: 10.1007/s10098-019-01783-0.

F. AYDIN, H. SARPTAŞ, 2018. İklim Değişikliğinin Bitki Yetiştiriciliğine Etkisi: Model Bitkiler ile Türkiye Durumu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2147-5881, 24, 3, 512-521.

F. AYDIN, 2017. Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri ile Değerlendirilen Ormansızlaşma Kaynaklı Arazi Değişimi Altında Günümüz ve Gelecek Orman Biyoçeşitliliğinin Analizi: Bornova, İzmir Örneği, Ege Coğrafya Dergisi, 1300-5634, 25, 2, 15-34.

F. AYDIN, H. SARPTAŞ, 2016. An Investigation on GIS-based Estimation of Municipal Solid Waste Generation. WtERT, “<https://www.wtert.net/paper/3793/An-Investigation-on-GIS-based-Estimation-of-Municipal-Solid-Waste-Generation.html>”.

Bildiriler
(Ulusal* ve
Uluslararası**)

*F. AYDIN, H. SARPTAŞ, İklim Değişikliği ve Enerji, Sözlü Sunum, Yeşil İklim Yeşil Belediye Projesi Kapanış Toplantısı 2018, Yeşil Düşünce Derneği & Bornova Belediyesi, İzmir, 15 Eylül 2018.

**F. AYDIN, H. SARPTAŞ, Assessment Of Desertification Risk by Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) - A Case Study for Western Turkey, Sözlü Sunum, ICOCEE 2017 - 2nd International Conference On Civil and Environmental Engineering, 08 Mayıs 2017, 10 Mayıs 2017, 1924 - 1932.

Bildiriler

(Ulusal* ve
Uluslararası**)

(devamı)

**F. AYDIN, H. SARPTAŞ, Spatial Assessment of Potential Sites for Solar Desalination Plants in Turkey, Sözlü Sunum, SolarTR 2016 Conference & Exhibition, 06 Aralık 2016, 08 Aralık 2016, 418 - 425.

**H. SARPTAŞ, F. AYDIN, An Investigation on GIS-based Estimation of Municipal Solid Waste Generation, Sözlü Sunum, Recy & Depotech 2016, 08 Kasım 2016, 11 Kasım 2016, 699 - 706.

*F. AYDIN, H. SARPTAŞ, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ile Orman Kaybının Analizi ve Gelecekteki Orman Varlığının Tahmini, Sözlü Sunum, GEFİK - 2016 İzmir Genç Fizikçiler Kongresi, 12 Ekim 2016, 14 Ekim 2016.

**F. AYDIN, H. SARPTAŞ, Geographic Information Systems (GIS) And Remote Sensing (RS)-based Determination of Desertification Risk Index (DRI) In Aegean And Southwest Marmara Region, Poster Sunumu, ISES 2015 (International School of Energy Systems) by Forschungszentrum Julich, Kloster Seeon, Munich/Germany, 6 Eylül 2015, 11 Eylül 2015.

**F. AYDIN, H. SARPTAŞ, Site Identification for Solar-PV Systems Using GIS-based Multi-criteria Evaluation - A Case Study for Ödemiş, İzmir, Turkey, Sözlü Sunum, SolarTR 2014 Conference & Exhibition, 19 Kasım 2014, 21 Kasım 2014, 659 - 668.

*F. AYDIN, H. SARPTAŞ, Menemen Ovası Bitki Ürün Deseninin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi, Sözlü Sunum, GEFİK-2014 İzmir Genç Fizikçiler Kongresi, 14 Temmuz 2014, 16 Temmuz 2014.

Hakemlikler

Clean Technologies and Environmental Policy (Springer – ISSN: 1618-954X)

Yer Aldığı**Projeler**

TÜBİTAK 1003, BURSIYER, İKLİM-RİSK, Yürütülen Kuruluş: DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ (Devam ediyor). Yaptığı Çalışmalar: Su Tutma Kapasitesi, Toprak albedosu, K-usle faktörünün üretilmesi. Yapmakta olduğu çalışmalar: Uzaktan Algılama ve Arazi Kullanım Modellemesi ile gelecek arazi kullanım değişikliği tahminlemelerinin yapılması.

BAP, ARAŞTIRMACI, Enerji Tarımı Yapılacak Alanların CBS ile Belirlenmesi, Yürütülen Kuruluş: EGE ÜNİVERSİTESİ, 01 Ocak 2016, 01 Haziran 2018.

BAP, ARAŞTIRMACI, CBS ve Uzaktan Algılama ile Orman Kaybının Analizi ve Gelecekteki Orman Varlığının Tahmini, Yürütülen Kuruluş: EGE ÜNİVERSİTESİ, 01 Ocak 2015, 01 Şubat 2018.

BAP, ARAŞTIRMACI, Orman Biyokütle Potansiyelinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Tespiti, Yürütülen Kuruluş: EGE ÜNİVERSİTESİ, 01 Ocak 2014, 01 Temmuz 2017.

TÜBİTAK 4007, YARDIMCI PERSONEL, Bornova Bilim Festivali: Temiz Enerji, Temiz Çevre, Yürütülen Kuruluş: Bornova Belediyesi Mevlâna Toplum ve Bilim Merkezi, Destek Alınan Kuruluş: TÜBİTAK, 01 Haziran 2015, 01 Kasım 2015.

İşte Güneş Sergi ve Eğitimi, BURSIYER, Yürütülen Kuruluş: GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜ, Destek Alınan Kuruluş: GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜ

Ödüller

ESRI 2020 Genç Bilginler Yarışması Birinciliği, Ödül Alınan Kurum: Environmental Systems Research Institute (ESRI). Yarışma Projesi: Afrika'da Su Kıtlığı Deniz Suyu Solar Desalinasyon Uygulanabilirliğinin CBS ile Analizi, 07 Mayıs 2020.

Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Bölüm Birinciliği, Ödül
Alınan Kurum: EGE ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE, 05 Temmuz 2013.

Burs ve Destekler

116Y423, İklim-Risk (İklim Değişikliği Etkisinde Sürdürülebilir Su Yönetimi İçin Hidrolojik Riskler ve Su Kalitesi Değişimi), 1003 - Öncelikli Alanlar (2. Aşama), Burslu, Yürürlükte, ARDEB, ÇAYDAG - Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Destek Grubu, Proje Başlangıç / Bitiş Tarihleri: 15.08.2018 - 15.08.2021. (devam ediyor).

Yüksek Öğretim Kurumu 100 / 2000 Doktora Bursiyerliği (Eylül 2017 – Şubat 2021).

Türk Eğitim Vakfı Başarı Bursu (Kasım 2013 - Aralık 2015).

Polis Eşleri Derneği Bursu (Eylül 2011 - Haziran 2013)

Katıldığı Kurs, Okul ve Etkinlikler

Türk Eğitim Vakfı (TEV) Mentorink Programı, Mentorluk (Menti adı: Aysun Özlem Sarı; Ege Üniversitesi), Mentorluk Konusu: Akademik Dünyaya ve Araştırmacılığa Hazırlanma, Başlangıç Tarihi: 18 Mayıs 2020.

CBS'ye Giriş ve Temel Uygulamalar (ArcGIS 1 ve 2) Online Eğitimi, ESRI Türkiye, 10-14 Ağustos 2020.

ESRI 2020 Virtual User Conference, Düzenleyen Kurum Environmental Systems Research Institute (ESRI), 13 July 2020, San Diego, USA.

International School on Energy Systems: 2015, Düzenleyen Kurum: IEK-STE, Forschungszentrum Jülich, 10 September, 2015, Koloster Seeon, Germany.

Biyokütle Enerji Teknolojileri Kış Okulu: 2014. Düzenleyen Kurum: Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü. 12 Aralık 2014, İzmir, Türkiye

Uzaktan Algılama Eğitimi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi & Çiğli Ana Jet Üssü Komutanlığı, 16-18 Nisan 2014, İzmir.

ArcGIS Pro 2.5 & ArcGIS Desktop 1.7

Terrset (Idrisi)

ERDAS Imagine

QGIS

R & R Studio

eCognition

SAGA GIS

Kullanılan Programlar

Aldığı Eğitimler Sonucu Kazanılan Uzmanlıklar

Coğrafi Bilgi Sistemleri Uzmanlığı, Anadolu Üniversitesi – 2014

C-Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı – 2013

Katıldığı Kuruluş ve Topluluklar

- Ulusal Tarım ve Gıda Birliği – Toprak Verimliliği ve Suyun Korunması Çalışma Grubu Gönüllü Uzman Araştırmacı (2020 – Devam ediyor)
- Karşıyaka Kent Konseyi - Enerji Topluluğu Üyeliği (2016-2018)
- Yenilenebilir Enerji Topluluğu Başkanlığı, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü (2015-2016)
- BESTkulüp Öğrenci Kulübü Başkanlığı, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü (2015-2016)
- İzmir Kültür, Sanat ve Eğitim Vakfı (IKSEV) Gönüllülüğü (2013-2014)

- Ege Orman Vakfı Üyeliği (2008 - Devam ediyor)
- TEMA Üyeliği (2008 – Devam ediyor)

Futsal (Ege Üniversitesi Fen Fakóltesi Kadın Futsal Takımı Kaleciliđi ve Kaptanlığı– 2009, 2010, 2011, 2012) (En Centilmen Oyuncu Ödölü)

Diğer Faaliyetler

Voleybol (Devlet Su İşleri Spor Kulübü – 2000)

