



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ILGAZ DAĞI GÖKNAR (*ABIES
NORDMANNIANA* SUBSP. *BORNMÜLLERIANA* MATTF.)
ORMANLARININ BÜYÜMESİ VE MEŞCERE DİNAMİKLERİ
ÜZERİNE ETKİLERİ

HANDE NUR VAROL

DANIŞMAN

PROF. DR. HALİL BARIŞ ÖZEL

BARTIN-2023



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ILGAZ DAĞI GÖKNAR (ABİES NORDMANNİANA
SUBSP. BORNMÜLLERİANA MATTF.) ORMANLARININ BÜYÜMESİ VE
MEŞCERE DİNAMİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

DOKTORA TEZİ

Hande Nur VAROL

BARTIN-2023

KABUL VE ONAY



BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr.Halil Barış ÖZEL danışmanlığında hazırlamış olduğum “İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ILGAZ DAĞI GÖKNAR (*ABIES NORDMANNIANA* SUBSP. *BORNMÜLLERIANA* MATTF.) ORMANLARININ BÜYÜMESİ VE MEŞCERE DİNAMİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

12.12.2022

Hande Nur VAROL

ÖNSÖZ

Doğal dengenin en güzel örneğini ortaya koyan ormanlar sahip oldukları özel ekosistemin sunduğu ürün ve hizmetler itibarıyla modern toplum yaşamının korunması ve sürdürülmesi açısından çok önemli bir görevi yerine getirmektedir. Bu nedenle oldukça önemli olan bu doğal kaynak ile ilgili yeni araştırmaların yapılması hem ormanların korunması hem de ormanların sürdürülebilir yönetimi açısından çok önemlidir. Bu itibarla Ilgaz yöresinde hazırlanan bu doktora tez çalışmasında da yöreye ait ormanların devamlılığının sağlanması ve korunması açısından oldukça önemli ve yararlı bulgulara ulaşılmıştır. Bu kapsamda doktora öğrenimimin başından itibaren beni destekleyen ve hiçbir konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmanın başlangıcından itibaren değerli fikirleri ve bilimsel önerileri ile bana katkı sağlayan sayın Prof. Dr. Sezgin AYAN'a, sayın Prof. Dr. Barbaros YAMAN'a ve sayın Doç. Dr. Nuri Kaan ÖZKAZANÇ'a şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Tez jürimde yer almayı kabul ederek değerli bilimsel önerileri ile doktora tez çalışmama destek veren sayın Doç. Dr. Şahin PALTA'ya ve sayın Doç. Dr. Ercan OKTAN'a teşekkür ediyorum.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi tezimin arazi ve büro çalışmalarında benden desteğinin esirgemeyen ve sabırla her konuda bana yardımcı olan değerli eşim sayın Doç. Dr. Tuğrul VAROL'a, kızlarım Tuğçe Neva ve Simin VAROL'a ve diğer tüm aile bireylerime şükranlarımı sunuyorum.

Doktora tezimin farklı aşamalarında değerli desteklerini benden esirgemeyen Orman Genel Müdürü sayın Bekir KARACABEY'e ve araştırma alanım olan Ilgaz Orman İşletme Müdürlüğündeki tüm teknik ve idari personeline en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Gerçekleştirmiş olduğum bu doktora tez çalışmasının başta ülkemiz ormancılığına ve ormanlarımıza gönül verenlere faydalı olmasını temenni ederim.

Hande Nur VAROL

ÖZET

Doktora Tezi

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ILGAZ DAĞI GÖKNAR (*ABIES NORDMANNIANA* SUBSP. *BORNMÜLLERIANA* MATTF.) ORMANLARININ BÜYÜMESİ VE MEŞCERE DİNAMİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Hande Nur VAROL

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL

Bartın-2023, sayfa: 87

İlgaz Orman İşletme Şefliğinin doğal orman ve ağaç sınırında bulunan saf ve doğal Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) ormanlarında (Gcd₃) doktora tezi olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, küresel iklim değişikliğinin göknar ormanlarının gelişiminde, dinamiklerinde ve üst orman basamağındaki doğal sınırları üzerindeki etkileri bir ön değerlendirme niteliğinde uygulamacılara ve gelecekte yapılacak akademik çalışmalara konuyla ilgili bir takım temel ve uygulamalı bilgiler olarak sunulması amaçlanmıştır. Araştırma alanındaki doğal orman sınırındaki meşcerelerden alınan örnek alanlarda ortalama yaşın 67-97 arasında değişen saf göknar meşcerelerinde ortalama göğüs yüksekliği çapının 25,4-40,3cm arasında, ortalama boyun 13,8-22,6m arasında ve ortalama ağaç sayısının da 45,3-53,6 adet arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca ölçüm ve tespitlerin yapıldığı 10 meşcereden 5 adedinin seçme, 5 adedinin de tek tabakalı kuruluşa dönüşen saf göknar meşceresi niteliğinde bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışmada yıllar itibarıyla ağaç sınırındaki göknar kolektiflerinin çaplarında değişimler ölçümler ile belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre doğal göknar gençlik kolektiflerinin ortalama çapları 2019 yılında 1,328m, 2020 yılında 1,407m ve 2021 yılında 1,492m olarak ölçülmüştür. Araştırmada doğal gençlik kolektifleri ile ilgili yıllar itibarıyla ölçülmek suretiyle incelenen gençlik kolektiflerinin boylarında 2019 yılında ortalama kolektif boyu

1,51 m, 2020 yılında 1,53 m ve 2021 yılında da 1,55 m olarak saptanmıştır. Doğal göknar gençlik kollektiflerinin doğal ağaç sınırına olan uzaklıkları da yıllar itibarıyla ölçülmüştür. Göknar gençlikkollektiflerinin doğal ağaç sınırı olan uzaklıklarına ilişkin 2019 yılında 1,913 m, 2020 yılında 1,901 m ve 2021 yılında 1,846 m ortalama uzaklık değerleri tespit edilmiştir. Doğal ağaç sınırı hattında yer alan göknar gençlik kollektiflerinde bulunan farklı yaşlardaki genç göknar bireylerinin ortalama boy değerleri 2019 yılında 5,3cm, 2020 yılında 6,4cm ve 2021 yılında da 7,2 cm olarak saptanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonrasında değişikyaşlı göknar gençliklerinde ortalama kök boğaz çapı 2019 yılında 15,6 mm, 2020 yılında 18,9 mm ve 2021 yılında 22,4 mm olarak belirlenmiştir. Kollektiflerde bulunan değişikyaşlı göknar gençliklerinin ortalama metrekaresindeki sayısı 2019 yılında 15,73 adet/m², 2020 yılında 12,46 adet/m² ve 2021 yılında 9,38 adet/m² olarak tespit edilmiştir. Araştırmada gerçekleştirilen yıllık halka analizleri sonucunda örnek veri ile alınan ölçümler arasında yıllar bazında eğilim uyumunun yüksek olduğu (0,79-1,00) ortaya çıkmıştır. Göknarın ortalama duyarlılık değeri 0.220 olan 96 yıllık (1926'dan 2020'ye kadar) büyüme halka genişliklerinin kronolojisi oluşturulmuştur. Kronolojilerin ortak aralık analizi istatistikleri ağaçlar arasındaki ortalama korelasyonun ve sinyal gürültü oranının sırasıyla 0.677 ve 7.412 olduğunu saptanmıştır. Ilgaz Dağı orman sınırındaki Uludağ göknarı bireylerinde yıllık halka gelişimi açısından ilkbahar ve yaz aylarında meydana gelen yağışların olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir. Ancak farklı zaman dilimlerinde özellikle ilkbahar sonu ve yaz sezonunda meydana gelen aşırı sıcaklıkların ve bunların neden olduğu kurak periyotların yıllık halka gelişimi ve dolayısıyla ağaçların büyüme performansına ve adaptasyon yeteneklerine olumsuz yönde tesirde bulunduğu da görülmüştür. Araştırma alanında küresel ısınmanın etkileri SSPs245 ve SSPs585 senaryolarına göre de değerlendirilmiştir. SSPs245 iklim senaryosuna göre ortalama sıcaklığın 2,5°C artması halinde 2060 yılında araştırma alanındaki ormanlardan 6102,9 ha'ı ve 2100 yılında da 9652,7 ha'ı "Yarı Kurak" iklim tipine geçiş yapacağı, SSPs585 iklim değişikliği senaryosuna göre ise ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında "Nemli" ve "Yarı Nemli" iklim tipindeki orman alanlarında önemli bir azalmanın olacağı buna karşılık "Yarı Kurak" iklim tipindeki orman alanlarında ise alansal dağılımın oldukça yüksek oranlarda olacağı tahmin edilmektedir. Yine aynı iklim senaryosuna göre 2100 yılında araştırma alanında daha önce hiç varlığı söz konusu olmayan ve büyüklüğü 4841,6 ha olan orman alanının "Kurak" iklim tipine geçiş yapacağı ihtimali ortaya çıkmış olup, yine 2100 yılında aynı senaryoya göre "Nemli" iklim tipinde Uludağ göknarının da hakim

olduğu orman kuşaklarının kaybolma olasılığının bulunduğu tahmin edilmiştir. Araştırmada yetiştirme ortamı koşulları ve deneme alanlarında bulunan göknar bireyleri ile gençliklerinde yapılan kantitatif karakter ölçümlerinden elde edilen bulgular ve WorldClim senaryolarının uygulanması ile ulaşılan sonuçlar kullanılarak küresel iklim değişikliğine bağlı değişimlerin ve bu değişimlere neden olan en önemli faktörlerin belirlenmesinde günümüzde istatistikte ve çok boyutlu karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan kNN (K-Nearest Neighbors), LVQ (Learning Vector Quantization), SVM (Support Vector Machine), RPART (Decision Trees) ve RF (Random Forest) mekanik öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Bu amaçla uygulanan mekanik öğrenme algoritmaları itibarıyla en iyi tahminde bulunan algoritma 2019, 2020 ve 2021 yılları itibarıyla %76,62, %77,93 ve %79,76’lık doğruluk düzeyleri ve dereceleri ile “Random Forest (RF)” algoritması olmuştur. Bu algoritmayı sırasıyla kNN, LVQ, SVM ve RPART mekanik öğrenme algoritmaları izlemiştir. Bu algoritmalar ile yapılan tahmin çalışmalarında ise en önemli değişkenler ise faktör yüklerine göre en yüksek sıcaklık (0,983), en düşük yağış (0,945) ve nisbi nem (0,892) olmuştur.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Uludağ göknarı, büyüme, orman sınırı, ağaç sınırı, gençlik kolektifi, iklim değişikliği senaryoları, mekanik öğrenme algoritmaları

Bilim Alanı Kodu:120517

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

**THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON GROWTH AND STAND
DYNAMICS OF TROJAN FIR (*ABIES NORDMANNIANA* SUBSP.
BORNMULLERIANA MATTF.) FORESTS IN THE ILGAZ MOUNTAIN**

Hande Nur VAROL

**Bartın University
Graduate School
Department of Forest Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL

Bartın-2023, pp: 87

In this research, which was carried out as a doctoral thesis in the pure and natural Uludağ fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) forests (Gcd₃) located on the border of natural forest and trees of Ilgaz Forestry Directorate, the growth, dynamics and natural limits of global climate change (global warming) in fir forests. As a preliminary assessment, it is aimed to provide some basic and applied information on the subject to practitioners and future academic studies. In the sample areas taken from the stands at the natural forest line in the study area, the mean height breast diameter is between 25.4-40.3 cm, the mean height is between 13.8-22.6m, and the mean number of trees is 45.3 in pure fir stands with an mean age of 67-97 years. It was determined that it varied between -53.6 units. In addition, it was determined that 5 of the 10 stands where measurements and determinations were made were selected and 5 were pure fir forests that turned into a one layered establishment. In the study, the changes in the diameters of the fir colonies at the tree line were tried to be determined by measurements. Accordingly, the mean diameter of natural fir juvenility colonies was 1,328m in 2019, 1,407m in 2020 and 1,492m in 2021. In the research, the mean colony length of the youth colonies, which were measured by years, was determined as 1.51 m in 2019, 1.53 m in 2020 and 1.55 m in 2021. The distances of natural fir juvenility colonies to the natural tree line were also measured over the years.

The mean distance values of fir juvenility colonies from the natural tree line were determined as 1,913 m in 2019, 1,901 m in 2020 and 1,846 m in 2021. The mean height values of juvenility fir individuals of different ages in fir juvenility colonies located on the natural tree line were determined as 5.3 cm in 2019, 6.4 cm in 2020 and 7.2 cm in 2021. After the evaluations, the mean root collar diameter of fir juvenility of different ages was determined as 15.6 mm in 2019, 18.9 mm in 2020 and 22.4 mm in 2021. The mean number of fir juvenility of different ages in the colonies per square meter was determined as 15.73 pieces/m² in 2019, 12.46 pieces/m² in 2020 and 9.38 pieces/m² in 2021. As a result of the annual ring analyzes carried out in the research, it was revealed that the trend consistency between the sample data and the measurements taken on a yearly basis was high (0.79-1.00). A chronology of 96 years (from 1926 to 2020) growth ring widths of fir with a mean sensitivity value of 0.220 was established. The common interval analysis statistics of the chronologies determined that the mean correlation between trees and the signal-to-noise ratio were 0.677 and 7.412, respectively. It has been determined that the precipitations in spring and summer have a positive effect on annual ring development in Uludağ fir individuals at the forest line of Ilgaz Mountain, but the extreme temperatures especially in the late spring and summer seasons and the dry periods caused by these have a negative effect on annual ring development. The effects of global warming in the research area were also evaluated according to the SSPs245 and SSPs585 scenarios. According to the SSPs245 climate scenario, if the average temperature increases by 2.5°C, 6102.9 hectares of forests in the research area will switch to “Semi-Arid” climate type in 2060 and 9652.7 hectares in 2100. In case of an increase of .8°C, it is estimated that there will be a significant decrease in forest areas in “Humid” and “Semi-humid” climate types in 2060, while the areal distribution in forest areas in “Semi-Arid” climate type is expected to be quite high. Again, according to the same climate scenario, the possibility that the forest area with a size of 4841.6 ha, which had never existed in the research area before in 2100, will transition to the "Arid" climate type, and again in 2100, according to the same scenario, Uludağ fir in the "Humid" climate type has emerged. It is predicted that all of the forest belts that it dominates will disappear. In the research, using the findings obtained from the measurements made in the quantitative characters of the fir individuals in the experimental areas and their youth and the results obtained by the application of the WorldClim scenarios in the research, in determining the changes due to global climate change and the most important factors causing these changes, it is now used in statistics

and in multidimensional decision-making processes. widely used kNN (K-Nearest Neighbors), LVQ (Learning Vector Quantization), SVM (Support Vector Machine), RPART (Decision Trees) and RF (Random Forest) mechanical learning algorithms have been applied. In terms of mechanical learning algorithms applied for this purpose, the best estimating algorithm was the "Random Forest (RF)" algorithm with accuracy levels and degrees of 76.62%, 77.93% and 79.76% as of 2019, 2020 and 2021. This algorithm was followed by kNN, LVQ, SVM and RPART mechanical learning algorithms, respectively. In the estimation studies made with these algorithms, the most important variables were the highest temperature (0.983), the lowest precipitation (0.945) and relative humidity (0.892), according to factor loads.

Keywords: Climate change, Uludağ fir, growth, forest line, tree line, juvenility colony, climate change scenarios, mechanical learning algorithms

Scientific Field Code:120517

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Küresel İklim Değişikliği ve Ormanlar Üzerindeki Etkileri.....	1
1.2.Orman Ekosistemlerinin Önemi.....	3
1.3.Uludağ Gökmar (Abies nordmanniana subsp. bornmülleriana Mattf)'nın Silvikültürel Özellikleri	6
1.4.Çalışmanın Amacı.....	8
2.LİTERATÜR ÖZETİ.....	10
3.MATERYAL VE METOT	17
3.1.Materyal.....	17
3.2.Metot	24
3.2.1. Meşcere Dinamikleri ve Gençlik Kolonilerine İlişkin Ölçümler.....	24
3.2.2. Örnek Ağaçlardan Karotların Alınması ve Yıllık Halka Analizleri	25
3.2.3. İstatistik Analizler	27
3.2.4. Küresel Isınmanın Gökmar Ormanları Üzerindeki Etkilerinin Senaryolar İle İncelenmesi	28
3.2.5. Küresel Isınmanın Gökmar Gençlik Kolonileri Üzerindeki Etkilerinin Mekanik Öğrenme Algortimalarıyla Tahmini	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1.Meşcere Dinamiklerine İlişkin Bulgular ve Tartışma	29
4.2.Gençlik Kolonilerine ve Gençliklere Ait Parametrelere İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	31

4.3.Yıllık Halka Analizlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma	41
4.4. Küresel Isınma Senaryolarına İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	57
4.5. Mekanik Öğrenme Algoritmalarına İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ	87



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
3.1: Çalışma alanının eğim grupları	18
3.2: 17 nolu bölmedeki göknar meşceresinden görünüm.....	19
3.3:59 nolu bölmedeki göknar meşceresinden görünüm.....	19
3.4:Araştırma alanının bakı haritası	20
3.5:Araştırma alanındaki bakı farklılıkları	21
3.6:Araştırma alanının yükselti grupları.....	21
3.7:Orman ve ağaç sınırının yer aldığı üst yükselti kuşağı	22
3.8:Araştırma alanındaki topraklarda yüzeysel taşlılık durumu.....	23
3.9:Gençlik kolonilerinde yapılan ölçümler.....	25
3.10:Karot alınan örnek göknar ağaçlarının konumsal dağılımı	26
4.1:Araştırma alanındaki tek tabakalı saf göknar meşceresi örneği.....	31
4.2:Konsantrik gençlik kolonileri.....	33
4.3:Doğal ağaç sınırı ve göknar gençlik kolonilerinin durumu.....	35
4.4:Alanda değişikyaşlı göknar gençlik kolonileri.....	38
4.5:Değişikyaşlı göknar gençliklerinde farklı düzeylerde kök boğaz çapı gelişimi.....	39
4.6:1 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	42
4.7:2 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	42
4.8:3 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	43
4.9:4 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	43
4.10:5 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	44
4.11:6 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	44
4.12:7 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	45
4.13:8 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	45
4.14:9 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	46
4.15:10 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	46
4.16:11 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	47
4.17:12 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	47
4.18:13 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	48
4.19:14 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	48
4.20:15 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
4.21:16 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	49
4.22:17 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	50
4.23:18 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	50
4.24:19 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	51
4.25:20 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği.....	51
4.26:COFECHA programından elde edilen tüm segment ve seriler için tanımlayıcı istatistikler.....	53
4.27:İlgaz Orman İşletme Şefliği Plan Ünitesine Ait Günümüz Yağış Haritası	58
4.28:SSPs 245 iklim senaryosuna göre plan ünitesinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki yağış durumu	58
4.29:SSPs 585 iklim senaryosuna göre plan ünitesinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki yağış durumu	59
4.30:İlgaz Orman İşletme Şefliği Plan Ünitesine Ait Günümüz Sıcaklık Haritası	60
4.31:SSPs 245 iklim senaryosuna göre plan ünitesinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki sıcaklık durumu	61
4.32:SSPs 585 iklim senaryosuna göre Devrek yöresinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki sıcaklık durumu	62

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
3.1: Örnekleme yapılan göknar meşcerelerinin genel tanıtımı.	24
3.2: Karotların alındığı örnek ağaçlara ilişkin tanıtıcı bilgiler.	26
4.1: Araştırma alanındaki Gcd ₃ meşcerelerine ait örnek alanlarda meşcere dinamikleri.	29
4.2: Gençlik kolonilerinin çapına uygulanan varyansın analizinin sonucu.....	31
4.3: Yıllar itibarıyla belirlenen gençlik kolonilerinin ortalama çaplarına uygulanan Duncan Testinin sonucu.	32
4.4: Gençlik kolonilerinin boyuna uygulanan varyansın analizinin sonucu.	33
4.5: Gençlik kolonilerinin doğal ağaç sınırına olan uzaklıklarına uygulanan varyansın analizinin sonucu.	34
4.6: Gençlik kolonilerinin doğal ağaç sınırına olan uzaklıklarına uygulanan varyansın analizinin sonucu.	35
4.7: Kolonilerdeki farklı yaşlı göknar bireylerinin yıllara göre ortalama boy değerleri.....	36
4.8: Kolonilerdeki değişikyaşlı göknar bireylerinin yıllara göre ortalama kök boğazı çapı değerleri.....	38
4.9: Gençlik kolonilerinde metrekaresindeki doğal gençlik sayılarına uygulanan varyansın analizinin sonucu.	40
4.10: Yıllar itibarıyla belirlenen ortalama metrekaresindeki doğal gençlik sayılarına uygulanan Duncan Testinin sonucu.	40
4.11: Yirmi adet örneğe ait Crossdate işleminin örtüşme değerleri.....	52
4.12: 50 yıl tarihli segmentlerin 25 yıl gecikmeli korelasyonları.	53
4.13: ARSTAN programındaki kronolojilerin özet istatistikleri.....	54
4.14: SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre plan ünitesi ormanların yağış grupları itibarıyla alansal dağılımındaki değişim.....	63
4.15: SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre plan ünitesi ormanların sıcaklık grupları itibarıyla alansal dağılımındaki değişim.....	64
4.16: SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre plan ünitesi ormanların genel iklim tiplerine göre alansal dağılımındaki değişim.....	65
4.17: Mekanik öğrenme algoritmalarıyla yapılan tahminlerin doğruluk düzeyleri.	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ha	: hektar
c	: orta ağaçlık çağı
d	: kalın ağaçlık çağı
m	: metre
cm	: santimetre
mm	: milimetre
m ²	: metrekare
p	: korelasyon katsayısı
r	: serbestlik derecesi

KISALTMALAR

ANOVA	: Analysis of Variance
B	Boşluklu Kapalı
G	: Gökmar
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

1. GİRİŞ

Modernleşen toplum yaşamı ve artan talepler karşısında doğal kaynaklardan yapılan aşırı ve olumsuz faydalanmalar neticesinde bu önemli kaynaklar bitme noktasına gelmiş ve geri dönülemeyecek ve tamiri mümkün olmayan zararlara maruz kalmıştır. Bu durum beraberinde doğal dengenin bozulmasına, ekolojik sistemlerin tahribe uğramasına ve ekosistemlerin çalışamaz hale gelmesine neden olmuştur. Bu kapsamda söz konusu bu doktora tez çalışmasında da ele alınan küresel ısınma iklim değişikliği ile birlikte ortaya çıkan ve artık tüm dünya canlılarının yaşamsal döngülerini tehdit eden küresel bir sorun niteliği kazanmıştır. Tüm dünya ülkelerinin çözümünde ortak hareket etmesini zorunlu kılan bu çevre sorunu ve etkileri hakkında yeni ve güncel bilgilere ulaşılması oldukça yararlı ve önemlidir.

1.1.Küresel İklim Değişikliği ve Ormanlar Üzerindeki Etkileri

Küresel olarak, ormanlar 4 milyar hektar (ha) araziye veya Dünya'nın kara yüzeyinin %30'unu kaplamaktadır. 2005 yılında, 434 milyar m³ büyüyen stokun 3,5 milyar m³ odunu ormanlardan üretilmiştir. Bu miktarın %60'ı endüstriyel yuvarlak odun, geri kalanı ise yakacak odundur (UNECE, 2006). Ormanlık arazinin çoğunluğu birincil (%36) veya değiştirilmiş (%53) doğal ormanlarla kaplıdır. Birincil orman alanı 1990'lardan bu yana her yıl 6 milyon hektar azalmaktadır ve bu oran özellikle Brezilya ve Endonezya'da yüksektir; Bu iki ülke yılda 4.9 milyon hektar orman kaybından sorumludur. Orman kaybı, büyük ölçüde tropik bölgelerde olmak üzere düşük gelirli ülkelerde meydana gelme eğilimindeyken, yüksek gelirli ülkeler daha önceki orman kayıplarını tersine çevirmişlerdir. Orman arazisinin yalnızca %3'ü verimli ağaçlandırmalarla kaplıdır; ancak, bu alan 1990'larda yılda 2 milyon hektar ve bu on yılda 2,8 milyon hektar hızla büyümüştür. Plantasyonlar büyük ölçüde tropik ve subtropik bölgelerde, örneğin Brezilya ve Endonezya'da ve ayrıca örneğin Şili ve Çin gibi yüksek verimli ılıman bölgelerde kurulmuştur. Nispeten küçük alanlarına rağmen, orman plantasyonları endüstriyel yuvarlak odunun üçte birinden fazlasını sağlamakta olup, üretimin doğal ormanlardan plantasyonlara kaymasının 2030'larda %40'a ve 2050'lerde %75'e çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu durumun oluşmasında ve şekillenmesinde küresel iklim değişikliği ve özellikle küresel ısınma açısından çok önemli karbon yutakları olan doğal orman kaynaklarının korunması gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Shugart vd., 2003). Bununla

birlikte Dünya Bankası tarafından gerçekleştirilen ekonomik analizler sonucunda dünyanın en önemli sektörlerinden olan tarım ve ormancılık sektöründe üretkenliği etkileyecek beş ana faktör tanımlanmaktadır. Bu faktörler, yağıştaki değişiklikler, sıcaklık, karbondioksit (CO₂) ve arazi kullanımındaki değişimlerdir. Artan iklim değişkenliği ve kuraklık hayvansal üretimi de etkileyecektir. Mahsul üretimi doğrudan yağış ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Yağış ve sıcaklık, ürün yetişmesi ve gelişimi için kritik girdiler olan tatlı suyun mevcudiyetini ve toprak nemi seviyesini birlikte belirlemektedir. Bu durumda yapılan projeksiyonlara göre son 20 yıllık dönem içerisinde özellikle tropikal ve subtropikal rejyonda yer alan tropikal yağmur ormanlarının alansal ve nitelik bakımından en az %23,7'sinin tahrip edileceği ön görülmektedir. Aynı zamanda bu model sel projeksiyonda bu orman alanlarının kesimi için harcanan paranın yaklaşık 10 katı dahi söz konusu orman alanlarının verimli şekilde oluşturulmasında ancak yeterli olacağı bildirilmektedir (Dünya Bankası, 2007).

İklim değişikliği çağımızın en büyük sorunlarından biridir. 1950'li yıllardan itibaren iklim sisteminin ısınması hızlanmış ve atmosfer ve okyanusların ısınması, kar ve buzun azalması, deniz suyu seviyesinin yükselmesi, sera gazı konsantrasyonlarının artması gibi gözlemlenen değişimlerin birçoğu benzeri görülmemiş bir hızla gerçekleşmektedir (IPCC 2014). Son otuz yılın her birinde, dünyanın yüzey sıcaklığı, 1850'lerden bu yana önceki on yıllara kıyasla tutarlı bir şekilde arttı. Birleşik kara ve okyanus yüzey sıcaklığının küresel ortalaması, 1880'den 2012'ye kadar olan dönemde 0,85 C'lik bir ısınma olduğunu ortaya koyuyor (IPCC 2014). Ayrıca veriler, son 30 yılın Kuzey Yarımkürede son 1400 yılın en sıcak dönemi olduğunu göstermektedir (IPCC 2014).

Ağaç türlerinin dağılım aralığındaki değişiklikler (Waltling, 2015), ağaç türlerinin kuzey bölgelere ve daha yüksek rakımlara kayması, ayrıca biyoçeşitlilik ve ekosistem işleyişindeki önemli düşüşler iklim değişikliğinin sonuçları arasındadır. Ancak bazı dağlık bölgelerde orman büyümesi hızla artmaktadır (Silva vd., 2016). Ağaç büyümesi, artan atmosferik CO₂'nin sinerjistik etkileri, artan ısınma ve besin mevcudiyeti ile teşvik edilir; bu, mevcut değişiklikleri anlamak için toprak ve bitki ile atmosfer arasındaki etkileşimin önemini gösterir. Bazı bölgelerde yeni ormanların oluşması iklim değişikliğinin faydalı bir sonucu olsa da diğer bölgelerin aksine iklim değişikliği ormansızlaşmaya ve coğrafi değişime hatta türlerin yok olmasına yol açabilmektedir (Taleshi vd., 2019).

1.2.Orman Ekosistemlerinin Önemi

Makro düzeyde sadece odun hammaddesi şeklinde temel alınarak gerçekleştirilen orman kaynaklarından faydalanma ve orman ekosisteminin yönetilmesi çabaları günümüzde özellikle küresel iklim değişikliğinin azaltılması ve ortadan kaldırılması amacına yönelmelidir. Kendisini doğal süreçler çerçevesinde yenileyebilen en önemli kaynağı olması nedeniyle ormanların başta antieroziyon ve hidrolojik fonksiyonları ile karbon depolama ve sera gazlarının etkinliğinin düşürülmesi konularında çok daha önemli rol oynadığı bilinmektedir. Günümüzde modern toplum yaşamında sağlığın ve sosyal yapının korunması açısından çok değerli olan ormanların korunması tüm modern ormancılık yönetim uygulamalarında önemli bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda orman ekosistemlerinin sağladığı koruyucu fonksiyonlar artık günümüz koşullarında ayrı bir yönetim ve işletim birimi olarak ele alınmakta ve değerlendirilmektedir. Bu durumun sürdürülebilir orman kaynak yönetiminin en önemli ilkelerini oluşturmaktadır. Diğer taraftan hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler sahip oldukları ekonomik girdileri artırmak amacıyla doğal ya da yarı doğal tüm orman kaynaklarının işletilmesinde ve bu kaynaklardan yapılan faydalanmalarda maddi olarak ortaya konulabilen ya da konulamayan orman hizmet ve değerleri yeni tayin etme yöntemleri ile belirlemekte ve ekonomik girdilere ve kazançlara dönüştürmektedir (Asquith vd., 2008; Bagstad vd., 2013).

Orman ekosistemleri karmaşık ve kompleks bir yapıya sahip olup birçok unsurun karşılıklı olarak ya da kendi arasında doğrudan ve dolaylı etkileşimlerine bağlı olarak şekillenmektedir. Bu faktörlerden bazıları kimi durumlarda ormanların sağladığı ürün ve hizmet üstünlüğüne bağlı olarak ön plana çıkmakta, bazıları ise bu hizmetlerin geçerliliğinin ve devamlılığının sağlanması konusunda bazen geri planda kalmaktadır. Ancak hangi ürün ya da orman fonksiyonları olursa olsun hepsinin ortaya çıkmasında ve şekillenmesinde ekolojik denge ve bu dengeyi oluşturan unsurlar her zaman önem arz etmektedir. Bu hususların başında iklim yani iklimik koşullar ve toprak yani edafik koşullar gelmektedir. Diğer taraftan kimi araştırmacılara göre bu faktör sadece iklim ile sınırlı kalmakta olup, aslında toprak koşullarının da iklimik koşullardan ortaya çıkan bir sonuç ve şekillenme sürecine bağlı olarak son halini aldığı bildirilmektedir (Boumans vd., 2015).

Sürekli olarak değişen dinamik bir yapıya sahip olan orman ekosisteminde orman örtüsünün ve sağladığı fonksiyonel görevlerin son halini almasında ve bir yönetim stratejisi olarak belirlenmesinde yine iklimik koşulların önemli rolü bulunmaktadır. Bu itibarla özellikle ekolojik tabanlı olarak hazırlanan ve ormanları daha özel ve spesifik karakteristikleri ile yönetmeyi amaçlayan yönetim planları ve ekolojik modellemeler kısa ve uzun vadede belirledikleri tüm üretim parametrelerini ve hedeflerini şekillendirmede orman ekosistemlerinin iklimik faktörler ile olan ilişkisi üzerinden yol almaktadırlar. Bu durum tüm biyotik ve abiyotik unsurlar çerçevesinde orman ekosistemlerinin oluşmasından şekillenmesine kadar geçen işlevsel süreçlerde iklimin diğer unsurlara ve ekolojik faktörlere göre daha ön plana çıktığını gözler önüne sermektedir. Bu nedenle küresel iklim değişikliği ve güncel adıyla küresel ısınma tüm özel yaşam alanlarında ve tüm dinamik ekosistemlerde olduğu gibi hem ekosistemin varlığını oluşturmada önemli bir kaynak rolü oynamakta hem de ekosistemin sürdürülebilir yönetiminde etkili rol oynamaktadır. Nitekim tamamen açık alan koşullarında ortaya çıkan ve şekillenen orman ekosistemlerinde bu durum daha da belirgin hale geldiği için küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi çevresel olaylar bu ekosistemlerin ortaya çıkmasında, ve fonksiyonlarını yerine getirmesinde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Bu nedenle orman ekosistemlerinin nitelendirilmesinde ve sürdürülebilir yönetiminde hem strateji aşamasında hem de uygulama süreçlerinde iklim değişikliğinin tüm etkilerinin ortaya konulması şarttır. Bu ortaya koyma çalışmalarında hem canlı bir organizma olan bu yapısının oluşması ve büyümesi oluşturmakta hem de iklim değişikliğinin ekolojik anlamda ve yaşamsal süreçler çerçevesinde orman kaynaklarında sebep olduğu değişimler önemli olmaktadır (Asbjornsen vd., 2021).

Orman ekosistemleri tüm canlı yaşamı için hem hizmet ürün bazında hem de sağladığı koruyucu fonksiyonlar bazında önemli olması nedeniyle yakından izlenmesi gereken bir yaşamortaklığı olarak nitelendirilmelidir. Bu nedenle gerek bitkisel gerekse de hayvansal biyolojik çeşitlilik açısından çok önemli bir kaynak olan orman ekosistemlerinin varlığının devam ettirilmesinde iklimik koşullara bağlı olarak ortaya çıkan değişimlerin çok daha ayrıntılı bir şekilde izlenmesi için türler ve oluşturulan yöresel ekolojik birimler bazında çalışmaların sürdürülmesi gerekmekte ve önerilmektedir. Bu nedenle modern ekolojik modelleme yöntemlerinden yararlanılarak tür, alt tür ve hatta varyete bazında coğrafik varyasyon ve iklim değişikliği çalışmaları birbiriyle entegre edilmesi gerektiği gibi aynı zamanda söz konusu bu çevresel olayların büyüme üzerinde neden olduğu gerilemeler,

varsa kayıplar veya varsa destek unsurları da detaylı olarak incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Bu tür araştırmalardan elde edilen bilimsel bulgular hem orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi hem de orman ekosistemlerinde gerçekleştirilecek gençleştirme, rehabilitasyon ve restorasyon çalışmalarının başarısı açısından önem teşkil etmektedir(Mastrangelo vd., 2014; Knighton vd., 2020).

Orman ekosistemlerinin sağlıklı ve dinamik bir şekilde varlığını sürdürmesi tüm insanlığın ortak sorumluluğu ve görevidir. Bu konuda en yüksek risk faktörünü insanoğlu ve onun sürekli artan talepleri oluşturmakla birlikte özellikle kar, fırtına ve böcek zararı gibi biyotik ve abiyotik kökenli zararlı unsurların da ormanlar üzerinde olumsuz etkileri söz konusu olabilmektedir. Bu kapsamda orman ekosistemlerinin devamlılığının sağlanmasında bu zararlı etmenlerin de mutlaka değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Ayrıca, orman ekosistem hizmetleri çerçevesinde bu risk yaratan unsurların etkinlik faktörü olarak derecesi ve etkenlik düzeyi ile iklim değişikliği arasındaki etkilerin ortaya konulması orman ekosistemlerinde başkaca yönetim stratejilerinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu durum bazen sadece bu önemli kaynağın varlığının korunması ile sınırlı kalmamakta aynı zamanda bu doğal yapının oluşması açısından da çok büyük bir değer arz etmektedir. Çünkü orman ekosistemleri, bünyesinde sürekli canlılık faaliyetlerinin geçtiği komplike yapılar olup bu yapılar üzerinde mutlaka iklim değişikliğinin yaygın ya da sınırlı etkilerinin olduğu unutulmamalıdır. Bu doğrultuda orman ekosistemlerinde zararlı ya da risk unsuru yaratan faktörlerin de yapı ve düzeylerinin belirlenmesinde ve bunun açık alan şartları ile ilişkilendirilmesinde çok önemli yararlar bulunmaktadır (Qazi vd., 2017; Serna-Chavez vd., 2017).

Orman ekosistemlerinin varlığının sürdürülmesinde tüm canlılar için olan ve önem arz eden ortak yaşam alanındaki asgari standartların korunması gerekir. Bu nedenle bu ortak yaşama alanı tüm detayları ile incelenmeli ve canlıların oluşturduğu popülasyonlar tüm bileşenleri ile birlikte ortaya konulmalıdır. Tür bileşenlerinden itibaren tüm canlı yaşam döngülerinin ve etkilenme derecelerinin belirlenmesi orman ekosistemlerine dışarıdan ya da içeriden gelebilecek tehdit unsurlarının oluşturabileceği zararların asgariye indirilmesinde de önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle bir orman ekosisteminde tüm canlı bileşenleri, biyolojik çeşitlilik unsurları, düzeyleri ve yapıları ayrıntılı olarak incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Bu durum söz konusu canlı popülasyonlarına ait gen kaynaklarının

korunması ve gelecek nesillere bırakılması açısından önemlidir (Syrbe ve Grunewald, 2017).

Orman ekosistemlerinin fonksiyonel unsurlarının ortaya konulmasında ekolojik faktörlerin farklı düzeylerde etki etmesi, bu faktörlerin modellenmesinde de farklı yaklaşımların sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle hidrolojik, antieroziyon, rekreasyonel, muhafaza ve estetik gibi ormanların fonksiyonel faydaları üzerine etkileri ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu konuda özellikle zamansal ve mekânsal planlama ve modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular özellikle iklimik unsurlar ile şekillendirilmiştir (Caldwell vd., 2016; Ahmad vd., 2018; Capriolo vd., 2020).

Tüm doğal kaynaklarda olduğu gibi çok önemli yapısal özellikleri olan ve yaşam için çok önemli ekiler meydana getiren orman ekosistemlerinin varlığının devam ettirilmesinde bu önemli kaynağın tüm biyotik ve abiyotik zararlı unsurlardan korunması oldukça önemlidir. Bu unsurların başında aşırı faydalanma, yangın, yapılaşma ve küresel iklim değişikliği gelmektedir. Diğerleri için alınabilecek önlemler ve tedbirler konusunda insanoğlu zarar verdiği kadar önemli aşamalar kaydetmemiş olsa da özellikle küresel iklim değişikliği yönünden alınacak tedbirlerin başında her gün zararlı etkilerine yenilerinin eklendiği değişimlerin yakından izlenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu nedenle tüm ekosistem bileşenleri farklı coğrafik varyasyonlar çerçevesinde yakından izlenmeli ve değerlendirilmelidir. Bu amaçla özellikle türlerin ekolojik ve silvikültürel özellikleri iyi bilinmeli ve iklim değişikliğinin etkilerine bağlı olarak çıkan değişimler ortaya konulmalıdır. Bu anlamda araştırmanın materyalini oluşturan tür olan Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.)'nın silvikültürel özellikleri burada ayrıntılı olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

1.3.Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.)'nın Silvikültürel Özellikleri

Ülkemizde doğal olarak yayılış yapan göknaarı türleri içinde en geniş coğrafik varyasyona sahip olan türdür (Saatçioğlu, 1969). Genel olarak Marmara Bölgesinin batısında yayılışı başlayan bu tür, yayılışını güney Marmara ile Batı ve Orta Karadeniz Bölgelerinde devam ettirmektedir (Ata, 1995). Genel olarak Fagetum-Abietum geçiş zonunda başlayan bu tür düşey yayılışı hem Marmara Bölgesinde hem de Orta ve Batı Karadeniz Bölgelerinde

1500-1800m yükselti kuşağına kadar çıkıp, sub-montan, montan ve sub-alpin kuşakta ağaç ve meşecere sınırı oluşturmakta, birçok üst yükselti kuşağı olan 1850-1950m kuşağında da orman sınırını oluşturmaktadır (Ata, 1995; Genç, 2004).

Ülkemiz ormanlarında Kazdağı göknarı dışındaki tüm göknar türleri üst ve yan siperin etkisi ile meydana gelen grift kapalı koşullarda %2-5 gibi çok düşük ışık entansitelerinde alana gelebilmekte ve uzun süre hayatiyetini kaybetmeden bu düşük ışık ekolojisi koşullarında yaşayabilmektedir. Göknrlar kendisine büyümesi için gerekli olan ışık verildiğinde de kaybetmediği büyüme enerjisini koruyarak ve kullanarak normal büyüme performansını gösterebilmektedir. Gölge ağacı olarak bilinen Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf), bu önemli avantajı ile gençleşmesinde ve alana adaptasyonunda diğer türlere göre özellikle karışık meşcerelerde önemli bir avantaja sahip olmaktadır. Bu avantajını kullanarak alt tabakadan itibaren doğru bakım teknikleri uygulanmadığında karışık meşcerelerde hakimiyeti ele geçirerek alanı önce göknar ağırlıklı meşcerelere alanı dönüştürmekte ve daha sonra da meşcereyi tamamen saf göknar meşceresine getirmektedir (Saatçioğlu, 1979). Göknar gençliği en iyi büyümesini %20-30 ışık entansitesi koşullarında gerçekleştirmektedir. Bu nedenle seçme işletmesine uygun saf göknar meşcerelerinde gerçekleştirilen seçme kesimi uygulamalarında yapılan bireysel ağaç işletmesinde gaye çapına ulaşan ağaçların alınması ile birlikte oluşturulan gruplarda ışık entansitesinin %20-30 arasında olduğu koşullarda göknar gençliği kolaylıkla gelip seçme işletmesinin doğal süreçlerine uygun şekilde alandaki birey sayısı dağılımına katılmaktadır (Saatçioğlu, 1979; Genç, 2004).

Yağış ve sıcaklık istekleri yönünden ışık isteği kadar yüksek toleransa sahip olmayan bu tür, en iyi gelişimini havadaki ve topraktaki optimal nem ve sıcaklık koşullarında yapar. Doğal yayılışını yaptığı çoğu noktada orman sınırını oluşturmakla birlikte çok düşük sıcaklıklara karşı sarıçam kadar dayanıklı değildir (Saatçioğlu, 1979). Ayrıca Uludağ göknarı yüksek sıcaklık koşulları ve kurak periyotlardan da zarar görür. Bu nedenle bir karaçam gibi antropojen step alanlarına sokulamaz ve karasal iklim tipine sahip olan rejyonlarda doğal yayılışını gerçekleştiremez (Ata, 1995). Kök sistemi, sıg ve fakir yetiştirme ortamı koşulları ile toprak yüzeyine yakın durgun su ve taban suyu koşulları altında zarar görür ve gelişemez. Bu nedenle ilk yıllardan itibaren derin, nötr veya hafif alkalen, organik besin maddesi içeriği yüksek, kırıntılı bünyeye sahip, havalanması ve nem kapasitesi iyi olan toprak koşullarında en iyi gelişimini gerçekleştirir. Bu anlamda kumlu-kil ve kumlu-

killi-balçık tekstüründeki topraklar Uludağ göknarı için ideal büyüme koşullarına sahiptir (Saatçioğlu, 1969; Anşın ve Özkan, 1997). Ekolojik ve silvikültürel özellikleri nedeniyle meydana gelen ani iklimatik değişimlerden çok çabuk etkilenir ve hem bireysel anlamda hem de meşcere formunda büyümelerde duraklamalar ve gerilemeler görülebilir. Bu durum türün sahip olduğu yüksek genetik çeşitlilik nedeniyle farklı popülasyonlarında farklı düzeylerde gerçekleşmektedir (Turna vd., 2010; Şevik, 2012). Bu kapsamda bu doktora çalışmasının da ana materyalini oluşturan Uludağ göknar, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi olayları oldukça iyi bir şekilde yansıtabilmekte ve incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Uludağ göknarının saf primer ve sekonder orman kuruluşlarının önemli bir bölümü uygulanmakta olan amenajman planları ekseninde seçme işletmesi koşulları taşıdıkları gerekçesiyle çap sınıfları metoduna dayalı olan seçme işletmesi ile işletilmektedir. Ancak günümüzde hem uygulamadan kaynaklı hem de biyotik ve abiyotik zarar unsurlarının etkisinden kaynaklı olarak bazı saf Uludağ göknarı ormanlarının tek tabakalı kuruluşu doğru bir yönelim gösterdiği de bilinmektedir.

Türün doğal yayılış alanlarında tüm orman kuruluşlarında karşılaştığı zararlı etmenler kapsamında fırtına ve kar zararı gelmekle birlikte (Ayan ve Sıvacıoğlu, 2002) en önemli zararlısı kabuk böcekleridir (Şimşek ve Öner 2002). Bu nedenle iklim koşullarına da bağlı olarak epidemi gerçekleştiren kabuk böceği zararları nedeniyle birçok verimli göknar ormanında kurumalar meydana gelmekte ve çok ciddi düzeyde olağanüstü hasılat etası alınması zorunlu olmaktadır. Bu durum göknar bireylerinin zayıf düşmesine ve türün geleceğinin koruma altına alınmasına da kimi noktalarda negatif etki edebilmektedir

1.4.Çalışmanın Amacı

İlgaz Dağında orman ve ağaç sınırında (subalpin ve alpin zon) bulunan saf Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) ormanlarında doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, küresel iklim değişikliğinin (küresel ısınmanın) meşcere dinamikleri ve göknar bireylerinin gelişimi üzerinde etkili olup olmadığına, etkileri varsa bu doğal orman kaynaklarının doğal süksesyonu üzerinde ne derecede ve hangi yönde etkiler yapmaya başladığı konusunda aktüel durum hakkında ön değerlendirme niteliğinde araştırma yapmak, bu konuda küresel ısınma ve mekanik öğrenme algoritmalarını

kullanarak gençlik kolektifleri de dahil olmak üzere küresel iklim değışikliğinin gelecekteki etkileri konusunda bilimsel öngörüler, yaklaşımlarda ve tahminlerde bulunarak uygulamacılara ölkemizin bu önemli doğal orman kaynağının varlığının devam ettirilmesi hususunda katkı sağlayacak önemli bilgilerin üretilmesi amaçlanmıştır.



2.LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde araştırma konusunu oluşturan küresel iklim değişikliğinin Uludağ göknarı başta olmak üzere ağaç türleri ve ormanlar üzerindeki etkileri, araştırma materyalini oluşturan Uludağ göknarı hakkında son yıllarda yapılan güncel çalışmalardan elde edilen bulgulara aşağıda özet olarak yer verilerek araştırma konusunun yeri, önemi ve gerekliliği vurgulanmıştır.

Zeytin (*Olea europaea* L.) yetiştiriciliğinin ana alanı olan Akdeniz Havzası'ndaki sıcaklığın, yakın gelecekte zeytin üretimini tehdit edecek şekilde şiddetli bir şekilde artması öngörülmektedir. Daha yüksek sıcaklığın zeytin meyve verme döngüsü ve vejetatif büyüme üzerindeki potansiyel etkilerini belirlemek için, 'Picual' çeşidi ile tarla koşullarında küresel ısınma koşullarını simüle eden bir çalışma yapılmıştır. Bu türün tüm üreme döngüsü boyunca gündüz/gece ortam sıcaklığını 4°C artırmak için sıcaklık kontrollü üstü açık oda (OTC) sistemleri kullanıldı. Üç yıllık çalışma, ortam sıcaklığındaki 4°C'lik artışın meyve verimini azalttığını ve meyve özelliklerini ve olgunlaşma süreçlerini etkilediğini göstermiştir (Benlloch-Gonzalez vd., 2019).

İklim değişikliğinin dünya çapında birçok bitki türünün coğrafi dağılımını değiştirmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, bu dağılım kaymalarının genelleştirilmiş bir yönünü ve büyüklüğünü gösteren net bir kanıt hala yoktur. İspanya'nın dokuz dağlık bölgesinde türlerin soğuk yerlere doğru yükseklik kaymalarını test etmek için, küresel iklim aralıklarının vekilleri olarak tüm yükseklik aralıkları boyunca bir dizi ağaç türünü araştırılmıştır. Çalışmada beş baskın ağaç türünün dağılım modellerini analiz edilmiş, sıklığı kaydedilmiş ve 306 parseldeki gençliğin başlangıç büyümesi ölçülmüştür. Türlerden üçü ılıman-boreal bir dağılıma sahiptir ve popülasyonları Akdeniz sıradağlarının güney kenarlarındadır: *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata* ve *Fagus sylvatica*; diğer iki tür ise Akdeniz dağılımına sahip olan *Quercus ilex* ve *Pinus nigra*'dır. Küresel ısınmanın bu türlerin alt sınırındaki bireylerin hayatta kalma üzerindeki olumsuz etkisini potansiyel olarak popülasyon düzeyinde dengelenebildiği belirlenmiştir. Bu bulgular, bu ağaç türlerinin erken toplanma aşamasında bir demografik stabilizasyon süreci önermekte ve iklim değişikliğinin tür dağılımları üzerinde gösterebileceği etkileri anlamak için tüm iklim aralığındaki farklı demografik aşamaları dikkate almanın önemini vurgulamaktadır.

İsveç'te yapılan bir araştırmada, ticari ormancılıktan elde edilen kütük kalıntılarının kullanılmasının, yaklaşık yirmi yıllık daha kısa bir perspektifte bile fosil yakıtın yerine geçtiğinde iklim açısından fayda sağladığını göstermiştir. Meşcere seviyesinde biyoenerji için ağaç kütüklerinin kullanılmasından kaynaklanan sıcaklık etkisi 10-15 yıl sonra zirve yapmış ve sonraki 4-5 yıl boyunca sürekli olarak maksimum seviyenin %15'ine düşmüştür. Kalan uzun vadeli iklim etkisi, fosil yakıt kullanımına kıyasla küçülmüştür (Ortiz vd., 2016).

Türler yükseklik ve meşcere yoğunluğunu artırarak sıcaklık artışlarına yanıt vermektedir. Bununla birlikte, ağaç sınırları içindeki yukarı doğru kayma ve ağaç yoğunluğunun birbiriyle nasıl ilişkili olduğu çok az bilinmektedir. Bölgesel ve yerel ölçekte bu iki ekolojik süreç üzerine yapılan araştırmalar, ya bazı ağaç sınırlarının konumlarında önemli bir ilerleme olmaksızın ağaç yoğunluğu sergilediğini ya da tersine bazı ağaç sınırlarının, gözle görülür bir yoğunlaşma olmaksızın konumlarını yukarı kaydardığını gösteren heterojen sonuçlar vermiştir. Bu varyasyonu araştırmak için, dünya çapındaki ağaç sınırları içindeki irtifa yukarı kayma oranı ile ağaç sıklaşma oranı arasındaki farkı ölçülmüş ve küresel süreçleri incelenmiştir. Dağ zonlarında yukarı kayma ile ağaç sıklaşması arasındaki uyumsuzluk, küresel ağaç sınırının %63'ünden fazlasında geniş çapta gözlemlenmiştir (Shi vd., 2022).

İspanya ve Andorra'daki piyerilerde yapılan bir araştırmada elde edilen bulgulara göre, Alpin ağaç sınırı ekotonları, düşük sıcaklıkların ağaç yenilenmesini ve büyümesini kısıtladığı zorlu ortamlardır. Bununla birlikte, küresel ısınmaya yanıt olarak ağaç sınırı ekotonlarının beklenen yukarı kayması her yerde mevcut olmamıştır. Ağaç sınırı dinamikleri ile küresel ısınma arasındaki bağlantı eksikliği, bu ekotonlarda fide alımını belirleyen iklim değişikliği dışındaki faktörlerle açıklanabilir (Batlori vd., 2009).

Tropikal ormanlar, küresel karbon döngüsünde ve iklim düzenlemesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, Asya tropikal orman büyümesinin iklimsel değişikliklere nasıl tepki verdiğine dair bilimsel veri ve bilgi birikimi hala sınırlıdır. Çin'in güneybatısında yer alan Yunnan'daki tropikal/subtropikal ormanlardaki iki çalışma bölgesinden 90 ağaçtan (139 çekirdek) *Toona ciliata*'nın ağaç halka genişliği kronolojilerini bu çalışmada incelenmiştir. Bootstrapped korelasyon analizi, *T. ciliata*'nın pozitif nem duyarlılığını (yağış, kendi kendini kalibre eden Palmer kuraklık şiddet indeksi,

bağıl nem ve toprak nemi) ve negatif sıcaklık duyarlılığını ortaya koymuştur. Buna göre, *T. ciliata*'nın radyal büyümesinin esas olarak erken büyüme mevsimi boyunca nem mevcudiyeti ile sınırlı olduğunu göstermiştir. Ağaç boyutunun ağaç büyümesi üzerindeki etkilerini ortadan kaldıran 'boyut sınıfı izolasyonu' (SCI) ve 'genelleştirilmiş katkılı karma modeller' (GAMM) yaklaşımlarını kullanarak *T. ciliata*'nın uzun vadeli büyüme eğilimlerini analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre her iki çalışma bölgesinde de her iki yaklaşım için azalan büyüme eğilimi saptanmıştır, bu durum Çin'in güneybatısındaki *T. ciliata* meşcerelerindeki büyüme düşüşünün muhtemelen küresel ısınmanın neden olduğu nem eksikliğinden kaynaklandığını göstermektedir. *T. ciliata* ağaçlarının büyümesi, tahmin edilen ısınma ve kuruma koşulları altında muhtemelen sürekli olarak azalacaktır. *T. ciliata*'nın gözlemlenen büyüme düşüşleri, Çin'deki tropikal/subtropikal ormanlar için sürdürülebilir yönetim ve koruma programlarının geliştirilmesine ilişkin endişeleri her geçen gün artırmaktadır (Sharma vd., 2022).

Asya'daki Changbai Dağı bölgesinde yapılan bu çalışmada üç farklı orman meşceresi yoğunluk seviyesinde büyüyen üç baskın ağaç türünden toplanan ağaç halkası örneklerini kullanarak bireysel ağaç büyümesi ölçülmüştür. Küresel ısınmanın ve orman meşceresi sıklığının büyüme süreçleri üzerindeki etkilerini tahmin edildiği bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre, Kore çamının genel olarak %25'inin, Moğol meşesinin yalnızca %3'ünün ve Mançurya dişbudakının ise %4'ünün büyümede küresel ısınma nedeniyle düşüş yaşadığı belirlenmiştir. Artan orman yoğunluğu ise, büyümedeki azalmayı da şiddetlendirebilmektedir. 1984'te, ısınmanın hızla arttığı bir iklim dönüm noktası belirlenmiş ve 1984'ten sonraki bireysel ağaç büyüme eğilimine göre "geliştirme grubu" (EG) ve "gerileme grubu" (DG) olmak üzere iki grup meşcerelerde tanımlanmıştır. EG için, iklim ısınma, sıcaklık hassasiyetini artırmış, ancak sıcaklık hassasiyeti, tüm çalışma süresi boyunca artan meşcere sıklığıyla birlikte azalmıştır. DG için ağaç büyüme hassasiyeti, küresel ısınma altında artan rekabet baskısı nedeniyle 1984'ten sonra sıcaklıktan yağışa kaymıştır. Çalışmadan, ısınmanın neden olduğu kuraklıktan kaynaklanan büyüme düşüşünün, özellikle kozalaklı ağaçlarda belirgin olarak tespit edildiği ve gözlemlendiği ve bu durumu meşcere sıklığının önemli ölçüde etkilediği ve temelinde de ağaçlar arasındaki komşuluk ilişkileri düzeyinin etkili olduğu açıklanmıştır (Cao vd., 2021).

Toprak solunumu (RS), karasal ekosistemlerdeki en önemli karbon akışlarından biridir ve ekosistem işleyişini tahmin etmede bir temel taşı olarak kabul edilir. İklim ve arazi kullanımındaki değişiklikler RS'yi değiştirebilir ve RS ile diğer ekosistem bileşenleri arasındaki geri bildirimleri tetikleyebilir. Farklı faktörler eşzamanlı olarak RS'yi değiştirebilir, ancak işleyen ekosistemler için etkileşimli etkilerin sonuçları tam olarak anlaşılamamıştır. Burada, iklimde beklenen değişikliklerin etkisi, bir Akdeniz savan ekosisteminde art arda iki yıl boyunca yapılan bir faktöriyel saha çalışmasında analiz edilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada iklimdeki değişikliklerin otlatma mirası ve habitat yapısı ile etkileşiminin RS'yi nasıl etkilediğini değerlendirilmiştir. Çalışma alanı için farklı otlatma mirasına (yüksek, orta ve düşük) sahip üç bitişik ala için tahmin edilen farklı iklim senaryolarını (ortam, daha kuru, daha sıcak ve daha kuru ve daha sıcak koşullar) simüle edilmiştir. Ayrıca, RS'yi kontrol eden faktörlerin zaman içinde doğrudan ve dolaylı etkilerini yapısal eşitlik modelleri (SEM'ler) kullanarak toprak organik C, mikrobiyal biyokütle veya net birincil üretkenlik gibi RS'yi etkileyebilecek diğer faktörleri de göz önünde bulundurulmuştur. Genel olarak, RS, açık otlaklara göre ağaç siperleri altında daha yüksekti ve yüksek otlatma yoğunluğu, RS'yi mevsimler boyunca farklı şekilde değiştirme eğilimi gösterdiği bu araştırma sonucunda belirlenmiştir. Isınma senaryosu sürekli olarak RS'yi artırırken, kuraklık (özellikle nemli mevsimlerde) RS'yi azaltmış, ısınma ve kuraklığın birleşiminden kaynaklanan RS'de orta düzeyde bir artış olduğu tespit edilmiştir. SEM analizleri, etkilerinin boyutu ve yönü bakımından mevsimsel farklılıklar sunsa da RS'yi kontrol eden ana faktörler olarak toprak nemi, sıcaklık, otlatma mirası ve gölgelik tanımlanmıştır (Matias vd., 2021).

İklim ısınmasına bağlı kuraklık, büyük ölçekli orman ölümlerinin ana itici gücü haline çok yakın bir zamanda gelebilir. Bununla birlikte, orta Avrupa meşe ormanlarındaki son ölüm olayları sırasında geçmiş yönetim miraslarının iklim büyümesi tepkilerini nasıl modüle ettiği hakkında çok az şey bilinmektedir. Batı Romanya'nın geniş bölgelerinde doğal yayılış yapmakta olan *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. meşcere yapısının (ağaç boyutu, rekabet) ve iklim faktörlerinin (kuraklık, sıcaklık ve yağış) komşu olan ölü ve canlı ağaçlarda ağaç radyal büyüme modellerini nasıl yönlendirdiği bu çalışmada ile analiz edilmiştir. Son ısınma kaynaklı geri dönüş üzerindeki rolleri ve etkileşimleri ayırt etmek için 20. yüzyılda bazal alan artışları (BAI) eğilimlerini, geçmiş yönetim miraslarını ve iklim ve kuraklık-büyüme ilişkilerini analiz edilmiş ve elde edilen bulgulara göre, büyüme mevsimi boyunca sıcaklık artışlarının ve atmosferik su talebindeki değişikliklerin hem

yönetilen hem de yönetilmeyen ormanları etkileyen 20. yüzyılın sonlarında artan kuraklık stresine izin verdiği gözlemlenmiştir. Her iki ormanda da, ölü ve canlı ağaçlar kuru 1980'lerden sonra farklı büyüme modelleri sergilemişler, bu da geri dönüşün şiddetli aşırı koşullar tarafından tetiklendiğini göstermektedir. Yönetilen meşcerelerdeki ölü ağaçlar, 1980'lerden sonra önemli ölçüde daha güçlü büyüme düşüşleri yaşamıştır. Yüksek meşcere sıklığı, yaşlı meşcerelerde büyümeyi ve gelişmiş iklim hassasiyetini olumsuz yönde etkilemiştir. Rekabet, *Q. petraea* ormanlarındaki yönetim mirasına bakılmaksızın ağaç ölümlerine neden olan küresel ısınma ve kuraklık olayları ortak bir etki meydana getirmişlerdir. İklim ve yapı değişiklikleri ile ilgili büyüme oranlarının geriye dönük değerlendirmeler *Q. petraea* ormanlarının daha fazla orman koruma ve yönetim kararları için değerli bilgiler ortaya koymuştur (Petritan vd., 2021).

Ağaçların artan/azalan büyüme tutarlılıkları dahil olmak üzere küresel ısınmaya farklı tepkileri, bazı kutup çevresi ile Alpler'de rapor edilmiştir. Bu çalışmada Tibet Platosu'nun doğu ucundaki 17 bölgeden toplam 534 ladin (*Picea* spp.) ve göknar (*Abies* spp.) cinsine ait karotlar alınmıştır. Bir popülasyondaki tüm ağaçların halka genişliği indeksi arasındaki ikili korelasyonlar, sırasıyla hızlı ısınmadan önce ve sonra analiz edilmiş ve bireysel ağaç büyümesi ile aylık ortalama sıcaklık arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. İlkbahar ve büyüme mevsimi sıcaklığı ile pozitif korelasyon gösteren ağaçların oranları da sayılmıştır. Sonuçlar, ağaçların büyüme tutarlılığının hem ladin hem de göknar için azaldığını, ancak bireysel ağaç büyümesi ile aylık sıcaklık arasındaki korelasyonun tutarlılığının yalnızca göknar için azaldığını göstermiştir. İlkbahar ve büyüme mevsimi sıcaklığına olumlu yanıt veren ladin oranı artarken, daha nemli bölgelerde olanlar dışında göknarın oranı değişmemiştir. Ağaçların ilkbahara ve büyüme mevsimi sıcaklığına tepkisinin mekansal değişkenliği, yağış azalmasıyla çakışmıştır. Sonuçlar, daha yüksek ilkbahar ve büyüme mevsimi sıcaklıklarının ladin radyal büyümesi için faydalı olduğunu ancak göknarda kuraklık stresine neden olabileceğini göstermektedir. İklim ısınmasının neden olduğu kuraklık stresinin, Tibet Platosu'nun doğu ucundaki ağaçlar için farklı tepkileri ve mekansal değişkenliği tetikleyebileceği sonucu ortaya çıkmıştır (Guo vd., 2019).

Küresel iklim değişikliğinin, aşırı kuraklık ve sıcak dalgalarının yoğun ve daha sık meydana gelmesinin neden olduğu tesadüfi hidrolik arıza nedeniyle dünya çapında hızlanan ağaç ölümleri gibi orman ekosistemleri üzerinde belirgin etkilere neden olduğu

görülmüştür. Bununla birlikte, ağaç hidrolojik stratejilerinin, iklim değişikliklerinin neden olduğu çevresel değişkenliğe nasıl uyum sağlayacağı iyi anlaşılmıştır. Bu çalışmada, subalpin ormanlarında yabancı yaşamın korunmasında ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesinde kilit rol oynayan bir ağaç türü olan Faxon göknarında (*Abies fargesii* var. *faxoniana*) bir yükseklik eğimi boyunca farklı iklim koşullarına uyum sağlama mekanizması olarak hidrolik iletkenlik araştırılmıştır. Hidrolik özellikler ve seçici morfolojik ve fizyolojik değişkenler, deniz seviyesinden 2.800 ila 3.600 m arasında bir rakım eğimi boyunca mevsimsel olarak ölçülmüştür. Yerel yüzdesel iletkenlik kaybının (PLC) mevsimsel ölçümlerde rakımla birlikte arttığını belirlenmiştir. Hem doğal diri oduna özgü hidrolik iletkenlik (Ks) hem de doğal yaprağa özgü hidrolik iletkenlik (Kl), Temmuz ve Ekim aylarında yapılan ölçümler için rakımla birlikte önemli ölçüde azalmıştır ve sırasıyla en yüksek büyüme ve dinlenme öncesi zamanlamayla aynı zamana denk gelmiştir. Hem ibredeki (NSCNeedle) hem de daldaki (NSCBranch) toplam yapısal olmayan karbonhidratların yanı sıra cari yıl yapraklarının fotosentetik kapasitesi, hidrolik işleyişin bütünlüğünün korunmasında ve geçerli çevresel koşullar altında hidrolik ayarın şekillenmesinde değişken roller oynamıştır. Bulgular, Faxon göknarının, morfolojik ve fizyolojik modifikasyonlar yoluyla subalpin bölgedeki iklim dalgalanmalarının dayattığı su sınırlamasına bir dereceye kadar hidrolik adaptasyon kabiliyetine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Pan vd., 2022).

Yunanistan için endemik olan *Abies cephalonica* ve *Abies borisii-regis* gibigöknar türlerideOrta Yunanistan'da benzeri bir coğrafi yayılım göstermektedir.Orman yangınları ve göknar azalması, her iki türün de son yıllarda karşılaştığı sorunlardan bazılarıdır ve bu sorunlar son zamanlarda iklim değişikliğiyle şiddetlenmiştir. Bu araştırma, Orta Yunanistan'daki enlemsel bir eğim boyunca üç göknar popülasyonunun ağaç halkası modellerini ve iklim tepkilerini araştırmıştır. Elde edilen bulgular, ağaç halkası genişlikleri alan kronolojilerinin analizi, değişkenliklerinin %59'unun ortak ağaç halkası modellerini yorumladığını, diğer %25'inin ise güneyden kuzeye doğru göründükleri için farklılıklarını yorumladığını ortaya çıkarmıştır. Ağaç halkası genişliklerindeki bu değişkenlik, bu bölgede güneyden kuzeye doğru yağış, sıcaklık ve kuraklık için gözlemlenen değişkenlik ile orantılı bulunmuştur. Ağaç halkası ile iklim ilişkileri, göknar ağacı halkası genişliğini etkileyen ana iklimsel faktörün, pozitif olarak ilişkili olduğu geç ilkbahar ve yaz yağışları olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca ağaç halkası genişlikleri, büyüme mevsimi öncesi Ekim ve Nisan aylarındaki sıcaklıklardan olumlu etkilenmiştir. Ancak Haziran ayı

kuraklığı, kuzeydeki ağaç halkası genişliklerini olumsuz yönde etkilerken, bahar mevsiminin başlangıcında, özellikle güneydeki alan için, Eylül ayındaki kuzeydeki alan için ise olumlu etkilemiştir. Tüm dendrokronolojik istatistikler, ağaç halkası modelleri ve iklim-büyüme ilişkileri, Orta Yunanistan'daki göknar popülasyonları için aynı yönde gözlemlenen iklimsel ve fenotipik (tür) varyasyonu takiben güneyden kuzeye doğru bir eğilim göstermektedir (Papadopoulos, 2016).

İklim değişikliğinin bazı türlerin yok olmasına yol açabileceğine dair kanıtlar artmaktadır. Bu araştırmada, farklı taksonomik grupların (eğrelti otu, vasküler bitki, ağaçta yaşayan mantar, yumuşakça, saproksilik böcek ve kuş) altı yüksek dağ türünün yok olma riskini, oluşumlarını iki küresel ısınma senaryosu altında modellenerek tahmin edilmiştir. Ayrıca, güneydoğu Almanya'daki (Bavyera Ormanı Ulusal Parkı) alçak dağlık ormanlardaki iklim değişikliğini izlemek için seçilen türlerin taksonlar arası gösterge uygunluğu da değerlendirilmiştir. Binom hatası ile yarı parametrik uzamsal genelleştirilmiş doğrusal modeller uygulayarak sıcaklığın ve diğer habitat değişkenlerinin etkisi test edilmiştir. Mevcut koşullar altında ve küresel ısınmanın iki koşulu altında her türün oluşma olasılığı hesaplanmıştır. Taksonlar arası uygunluğu değerlendirmek için, seçilen diğer türlerin ölçülen oluşumunu ve bir ayırım tekniğini kullanarak her tür için nihai genelleştirilmiş doğrusal modellerin öngörülebilirliği risk düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Seçilen tüm yüksek dağlık türler için sıcaklık ana sürücü olarak belirlenmiştir. İstatistiksel modeller, küresel ısınmanın bir sonucu olarak Bavyera Ormanı Ulusal Parkı içinde bu türlerin önemli bir yok olma riskini ortaya koymuştur. Ayırma analizi modeli, bu türlerin çevre ile temelde benzer ilişkilere sahip olduğunu ve altı türden beşinin küresel ısınmanın erken belirtilerini gösterdiğini ortaya çıkarmıştır (Baessler vd., 2010).

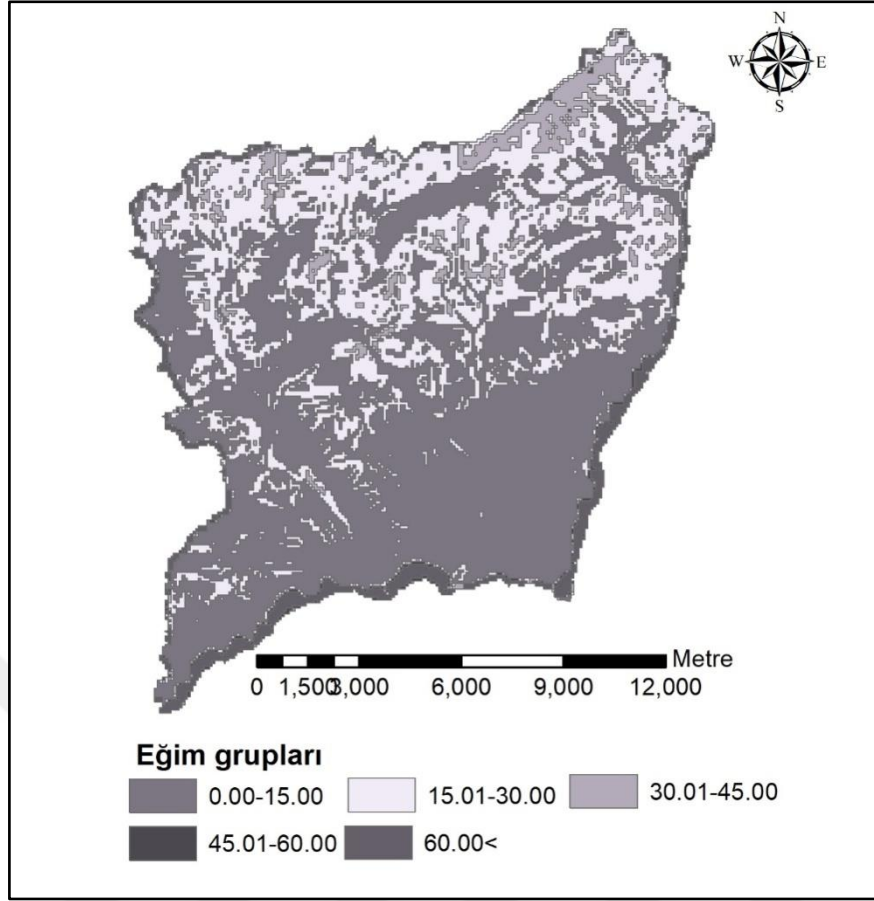
Tüm dünyada olduğu gibi Gürcistan'da da iklim değişikliği ile doğrudan ilişkili aşırı iklim olaylarının hızlandığı görülmektedir. Orman genişlemesinde ve orman çeşitliliğinde önemli değişikliklere neden olabilecek ısınma süreci devam etmektedir. Bu çalışmada, Doğu Gürcistan'daki çam ormanı sayımındaki toplam biyokütle stoku ve atmosferden tutulan karbon stoku değerlendirilmiştir. Doğu Gürcistan'da çam ağırlıklı ormanlar 66,7 bin hektardır, bu da Gürcistan'daki çam ormanlarının %72,6'sına tekabül etmektedir. Çam ağacı cinsinin toplam biyokütlesi 8,74 Tg'dir, Çam odunu biyokütlesinin yıllık ortalama büyümesi 123.7Gg'ye kadar çıkmakta ve yıllık karbon birikimi 59.6Gg seviyesine ulaşmaktadır (Vachnadze vd., 2016).

3.MATERYAL VE METOT

Bu bölümde doktora tezinde araştırma amaçlarının öngörülen hedeflere ulaşması ve araştırmadan beklenen faydaların sağlanması amacıyla araştırma objesi yani materyali olarak kullanılan unsurlar, araştırma alanı ve araştırmada objektif değerlendirmelerin yapılabilmesi için sahada, laboratuvar ve dijital ortamda ilgili veriler ve parametrelere ait sayısal değerlerin üretilmesinde, nitelendirilmesinde ve ölçülmesinde uygulanan metotlara ilişkin bilgiler verilmiştir.

3.1.Materyal

Küresel iklim değişikliğinin orman sınırı ve ağaç sınırındaki göknar (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf) ormanlarının büyümesi üzerindeki etkilerinin incelendiği ve bu konuda ön değerlendirmelerin ve yaklaşımların ortaya konularak uygulamacılara pratikte yararlanabilecekleri önemli ve pratik bilgilerin üretilmesinin amaçlandığı bu araştırmada araştırma alanı olarak Ilgaz Orman İşletme Şefliği seçilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen Ankara Orman Bölge Müdürlüğü, Ilgaz Orman İşletme Müdürlüğü Ilgaz Orman İşletme Şefliği orta Karadeniz bölümünün iç kısmında yer almaktadır. Ilgaz Orman İşletme Müdürlüğü doğudan Kastamonu Tosya, kuzeyden Kastamonu, batıdan Bolu Devrez, güneyden Çankırı Orman İşletme Müdürlükleri ile komşudur. Ilgaz Orman İşletme Müdürlüğü 32 58' 45"- 33 51' 32" doğu boylamları ile 40 55' 32" -41 04' 57" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (OGM, 2021). Ilgaz Orman İşletme Şefliği 20 295.90 ha ormansız alan, 18 632.00 ha orman alanı (normal +bozuk) olmak üzere toplam 38 927.90 ha'lık alana sahiptir (OGM, 2021). Şeflik alanının yaklaşık %55.16'sı yüzde 0-15, %33.86'sı yüzde 15-30, %5.45'i yüzde 30-45, %0.74'ü yüzde 45-60, %4.79'u ise %60'dan büyük eğime sahiptir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Çalışma alanının eğim grupları

Araştırmada incelemelerin bulunduğu ve iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmede çok önemli olan artım kalemlerinin (karotların) alındığı göknar meşcerelerinde eğimin önemli ölçüde arttığı ve arazinin dikleşmeye başladığı gözlemlenmiştir. Bu itibarla araştırma materyalini oluşturan meşcerelerin büyük bir bölümü %30-45 ve %45-60 eğim gruplarında yer almıştır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3)

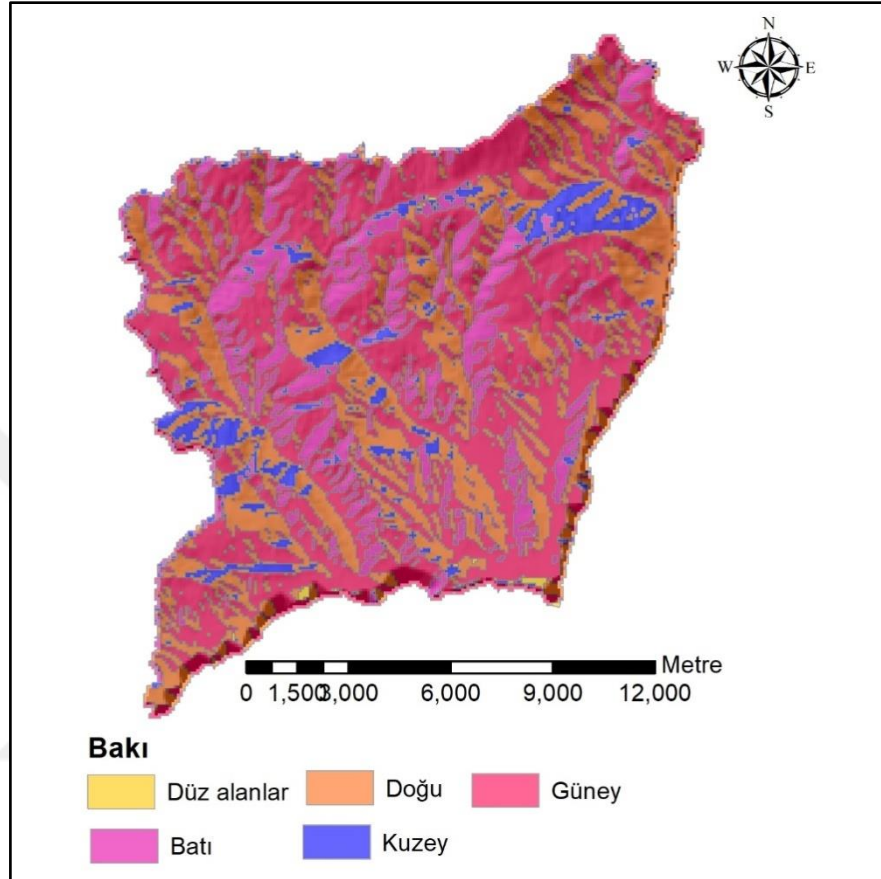


Şekil 3.2: 17 nolu bölmedeki göknar meşceresinden görünüm.



Şekil 3.3: 59 nolu bölmedeki göknar meşceresinden görünüm

Çalışma alanı bakı grupları için değerlendirildiğinde ise, şeflik alanının %50.23'ü güney bakılı, %28.97'si doğu bakılı, %6.73'ü kuzey bakılı, %13.86'sı batı bakılı ve %0.19'u ise düz alanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.4).



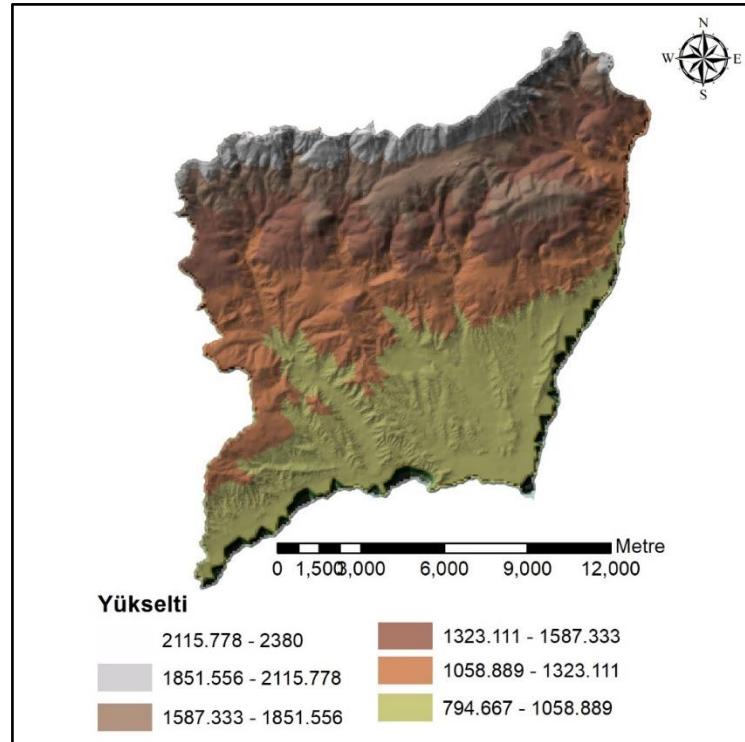
Şekil 3.4: Araştırma alanınının bakı haritası

Araştırma alanında gölgeli ve güneşli ana bakıların hemen hemen hepsine tekabül eden bakıda meşcereler bulunmaktadır. Bu kapsamda araştırmada bakı farklılığının etkisini olup olmadığının belirlenmesi adına tüm bakılarda örnekleme yapılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Araştırma alanındaki bakı farklılıkları

Ilgaz Orman İşletme Şefliğinin deniz seviyesinden yüksekliği 794 ile 2380 m arasında değişmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Araştırma alanının yükselti grupları

Ancak araştırmanın gerçekleştirildiği ve örneklemelerin yapıldığı bölmeler ve meşcereler orman ve ağaç sınırı noktalarında olması nedeniyle üst yükselti kademelerinde yer almıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3. 7: Orman sınırının yer aldığı üst yükselti kuşağı.

Araştırma alanındaki iklimik koşullar yapılacak tüm değerlendirmeler açısından oldukça önemli bir konuyu teşkil etmektedir. Bu kapsamda genel olarak Karadeniz İklim Kuşağının, Batı Karadeniz Alt İklim Kuşağında yer alan araştırma alanı, bitki sosyolojisi açısından Öksin Kuşağında kalmaktadır. Buna göre, araştırma alanındaki uzun yıllar (2014-2022) verisine göre belirlenen ana iklim karakteristikleri değerlendirildiğinde; çalışma alanında sıcaklık yıl içerisinde $-6,4^{\circ}\text{C}$ ile $28,3^{\circ}\text{C}$ arasında değişmekte olup, nadiren -14°C 'nin altına düşmekte ve 33°C 'nin de üzerine çıkmaktadır. 2014-2022 arası iklim verileri incelendiğinde; ortalama sıcaklığın $12,1^{\circ}\text{C}$ ile $15,8^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği en yüksek yağış miktarının 557.05 mm ile 2015 yılında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Alanda vejetasyon süresi 4-6 ay arasında değişmekte, erken ve geç don riskleri bulunmaktadır. Ortalama karla kaplı periyot uzunluğu 5-6 gün arasında farklılık göstermektedir (MGM, 2022).

Araştırma alanında genel olarak toprak yapısı metamorfik ve sedimanter kayalardan oluşmuştur. Toprak reaksiyonu açısından asidik ve hafif alkale karakter arasında değişim göstermektedir (Dede vd., 2020). Toprak yapısı araştırma alanının en üst yükselti kademelerini oluşturan Büyükfacet ve Küçükfacet tepeleri dışında orta derin ve derin koşullar içermektedir (OGM, 2021). Toprak üstü yüzeysel taşlılık, orta ve yükseltiye bağı olarak yüksek düzeyde değişim göstermektedir (Şekil 3.8). Bununla birlikte toprak yeterli düzeyde organik madde birikimi bulunmaktadır. Toprak yapısı genel olarak killi-balçık ve killi-kumlu-balçık ile kumlu-killi-balçık tekstürleri arasında değişmektedir. Strüktür olarak ise genel olarak kırıntılı bir bünye hakim olup, yer yer blok ve granular yapı da gözlenmiştir.



Şekil 3.8: Araştırma alanındaki topraklarda yüzeysel taşlılık durumu

3.2. Metot

3.2.1. Meşcere Dinamikleri ve Gençlik Kollektiflerine İlişkin Ölçümler

Araştırmada iklim değişikliğinin meşcere dinamikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla orman sınırında bulunan toplam 10 adet bölmedeki saf göknar (Gcd₃) meşceresinden 3 tekrarlı olacak şekilde 25x40m büyüklüğünde sistematik örnekleme şeklinde deneme alanları alınmıştır. Örneklemenin orman sınır hattındaki bu Gcd₃ meşcerelerinde yapılması hem az müdahalede bulunulmuş aktüel orman yapısının tüm doğal haliyle ortaya konulması hem de karot alımı yapılan ağaçların doğal hayat süreçlerini doğal meşcere yapısının hâkim olduğu alanlarda yapması nedeniyle karot alımı için örnek ağaçların da aynı meşcere koşullarından seçilimiyle uyum sağlanması açısından tercih edilmiştir. Örnek alanların alındığı meşcerelere ilişkin tanıtıcı bilgiler Tablo 3.1’de verilmiştir.

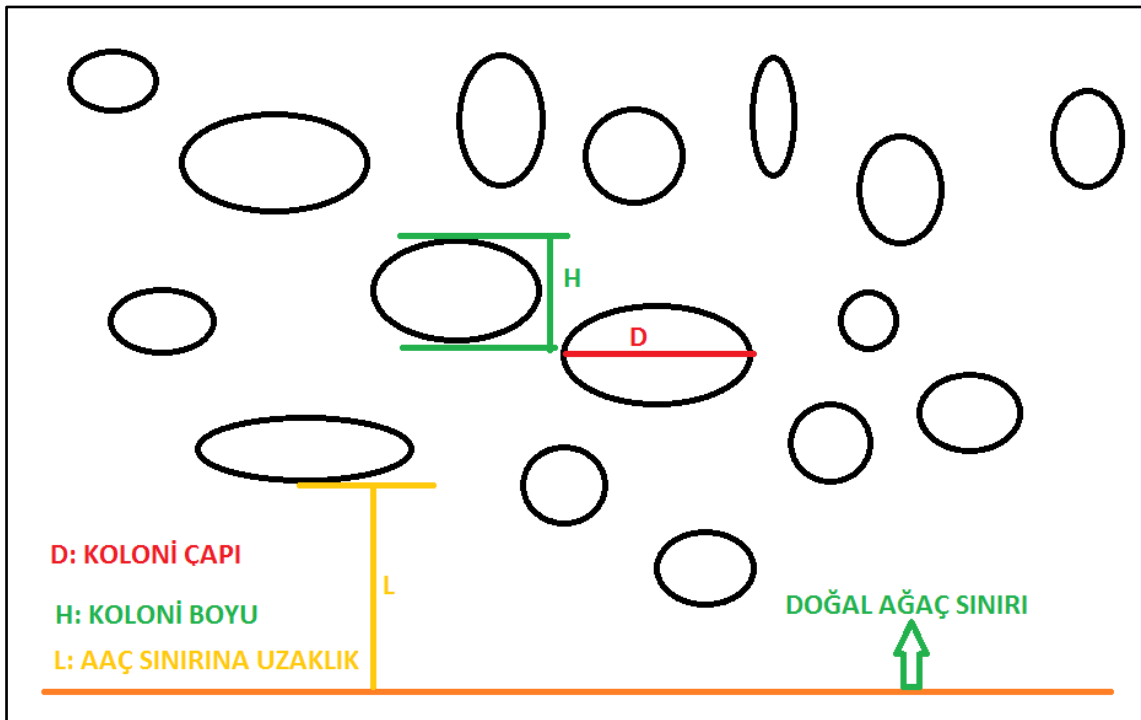
Tablo 3.1: Örnekleme yapılan göknar meşcerelerinin genel tanıtımı

Bölme No	Yükselti (m)	Bakı	Örnek Alan Büyüklüğü (m)	Örnek Alan Sayısı (adet)
12	1848	Kuzey	25x40	3
13	1919	Güney	25x40	3
16/1	1970	Güney	25x40	3
16/2	1972	Güney	25x40	3
17	1766	Doğu	25x40	3
18	1845	Doğu	25x40	3
20	1930	Batı	25x40	3
21	1960	Batı	25x40	3
27	1977	Doğu	25x40	3
59	1720	Kuzey	25x40	3

Söz konu bu deneme alanlarında meşcere dinamiklerine ilişkin tespitler (kapalılık, sıklık, tabakalılık) ile yaş, ortalama çap, ortalama boy ve hektardaki birey sayısı gibi kantitatif parametreler ölçülmek ve sayılmak suretiyle belirlenmiştir. Boy ölçümlerinde milimetre hassasiyetli dijital boy ölçer ve dijital çap ölçer kullanılmıştır

İklim değişikliğinin ve özellikle küresel ısınmanın ormanlar ve ağaçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasında bakılan en önemli değişkenlerin ya da doğal oluşumların başında gençlik kolektifleri gelmektedir. Bu araştırmada da ağaç sınırından orman sınırına

doğru belirlenen toplam 20 adet göknar gençlik kollektifi üzerinde 3 yıl süreyle bazı önemli ölçüm ve tespitler gerçekleştirilmiştir. Buna göre belirlenen ve açık alan koşullarından etkilenmesi mümkün olmayan çelik teller ile tespit edilen ve işaretlenen söz konusu gençlik kollektiflerinin çapları ölçülmüş, içindeki canlı birey sayıları belirlenmiş ve göknar gençlik kollektiflerinde ortalama boy, ortalama kök boğaz çapı ölçülmüştür. Ayrıca işaretlenerek tespit edilen bu gençlik kollektiflerinin ağaç sınır hattına göre üç yıl boyunca durumlarında değişimlerde yapılan mesafe ölçümleri ile belirlenmiştir. Kollektiflerin çaplarının belirlenmesinde milimetre hassasiyetinde çelik şerit metre, gençliklere ait ölçümlerde dijital boy ölçer ile dijital milimetrik çap ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Gençlik kollektiflerinde yapılan ölçümler

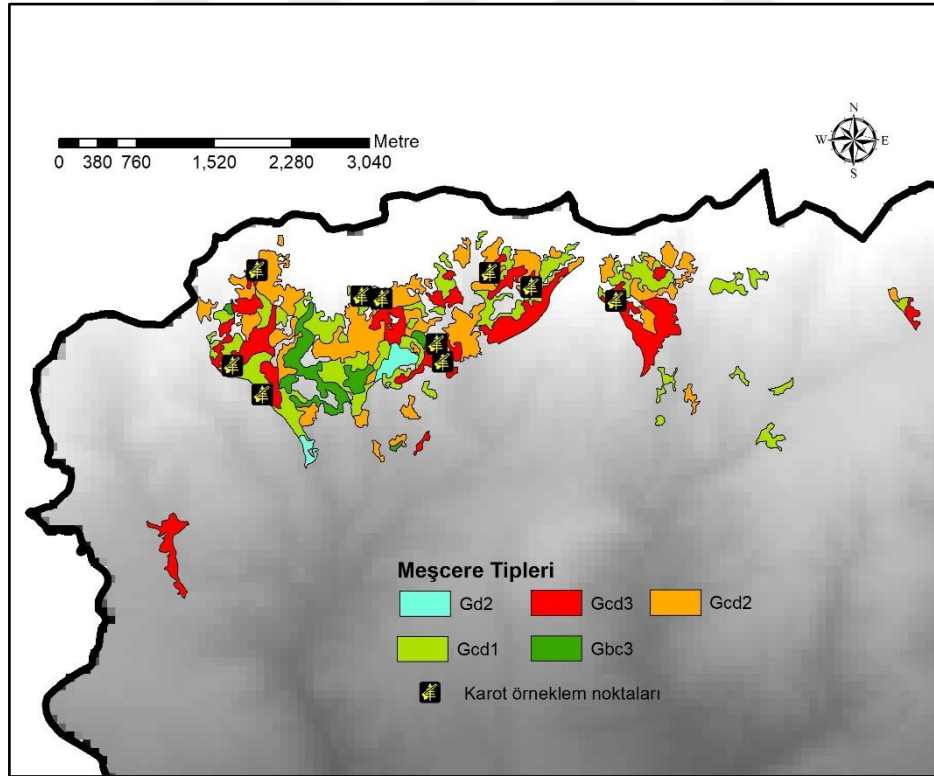
3.2.2. Örnek Ağaçlardan Karotların Alınması ve Yıllık Halka Analizleri

Meşcere dinamiklerinin belirlendiği örnek alanların alındığı toplam 10 adet Gcd3 meşceresinden galip tabakada bulunan ve aktüel meşcere koşulları içinde büyümüş olan 2'şer adet örnek ağaçtan artım kalemleri (karotlar) alınmıştır. Karotların alınmasında gövde ekseninde birbirine dik düzlemlerden alınmasına özen gösterilmiştir. Karotlar alınmasında artım burgusundan yararlanılmıştır. 2 tekrarlı olarak alınan toplam 20 adet karota ait tanıtıcı bilgiler Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: Karotların alındığı örnek ağaçlara ilişkin tanıtıcı bilgiler

Örnek Ağaç No	Bölme No	Yükselti (m)	Bakı	Eğim Grubu	X Koordinatı	Y Koordinatı
1, 2	12	1848	Kuzey	0-15	544601.488	4539561.801
3, 4	27	1977	Doğu	15-30	548363.256	4540198.772
5, 6	21	1960	Batı	15-30	547534.315	4540332.122
7, 8	20	1930	Batı	15-30	547126.856	4540473.939
9, 10	17	1766	Doğu	30-45	546664.099	4539599.489
11, 12	18	1845	Doğu	15-30	546607.213	4539772.792
13, 14	16	1970	Güney	15-30	546067.462	4540219.938
15, 16	16	1972	Güney	15-30	545869.024	4540246.397
17, 18	59	1720	Kuzey	15-30	544897.663	4539279.901
19, 20	13	1919	Güney	0-15	544845.402	4540498.678

Tablo 3.2’den de görülebileceği gibi örnek noktalar yüksek rakımlarda bulunan saf Gökmar (Gcd3) meşcerelerinin farklı bakı ve eğim gruplarından seçilmeye çalışılmıştır. (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Karot alınan örnek gökmar ağaçlarının konumsal dağılımı

Çalışmada alınan karot örnekleri sürdürülen süreçlerinde dört programdan (TRICYCLE, Corina, ARSTAN ve Cofecha) faydalanılmıştır. TRICYCLE programı ile ölçülen yıllık halka verileri “.xlsx” uzantısından “.rwl” uzantısına dönüştürülmüştür. Corina programı

isekronoloji amacıyla farklı zamanlarda yöreden elde edilen iki numune arasındaki ayırt edici özelliklerin korelasyonunun tespiti amacıyla kullanılmıştır. COFECHA programı, bir dizi ağaç (yaş) halkası ölçümü üzerinde veri kalite kontrolü yapmaktadır. Ölçüm serileri arasındaki çapraz tarihlemeyi doğrulamakta ve olası tarihleme ve ölçüm sorularını göstermektedir. Aynı zamanda tarihlendirme hataları veya önemli hatalar içerebilecek yaş halkası serilerinin bölümlerini de tanımlamaktadır. Problem tanımlanmadan önce seriler her defasında çapraz tarihleme ile ilgili özellikleri geliştirmek için dönüştürülmekte, düşük frekanslı varyans kübik spline ile kaldırılmaktadır. Otoregresif modelleme sürekliliği ortadan kaldırmaktadır. Farklı ağırlığa sahip olan eşit uzunluktaki seriler logaritmik dönüşüme tabi tutulmakta ve dönüştürülen her bir seri daha sonra ana tarihlendirme serisi ile test edilmektedir. ARSTAN programı ise, meşcere bozukluklarının etkilerini ortadan kaldırmak için program tarafından belirlenen ortalama değer tahminiyle her seriyi trendden çıkarıp standartlaştırarak kronoloji oluşturmaktadır. Program standartlaştırılan serilerin otoregresif modellemesi ile maksimum ortak sinyal ve minimum miktarda gürültü içerecek veri üretimini hedeflemektedir. Ortak zaman aralığının ana bileşen analizi ağaç halka serilerinde yer alan farklı sinyalleri ayırmakta ve kapsamlı istatistiksel analizlerle veri seti karakterize edilmektedir (Köse, 2012).

3.2.3. İstatistik Analizler

Araştırmada özellikle göknar gençlik kolektifleri ile ilgili yapılan kolektif çapı, kolektif boyu, kolektiflerin ağaç sınırına olan uzaklığı ile kolektifler içindeki doğal göknar gençliklerine ait ortalama boy, ortalama kök boğaz çapı ve ortalama canlı birey sayısı gibi metrik karakterler yönünden 20 kolektif arasında herhangi bir istatistiki düzeyde anlamlı farklılığın bulunup bulunmadığı konusunda istatistik analiz yöntemlerine başvurulmuştur. Bu bağlamda öncelikle kolektiflerden elde edilen ortalama değerlerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmıştır. Daha sonra kolektifler, bakı ve yükselti kademeleri itibarıyla bu ortalama değerleri karşılaştırmak için tek yönlü varyans analiz (One Way ANOVA) kullanılmıştır. Kolektifler arasında herhangi bir kantitatif karakter yönünden istatistiki açıdan anlamlı farklılık çıkması durumunda kolektiflerin homojen gruplara ayrılması amacıyla %95 güven düzeyinde Duncan Gruplandırma Testi uygulanmıştır. İstatistik analizler SPSS paket istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Küresel Isınmanın Göknar Ormanları Üzerindeki Etkilerinin Senaryolar İle İncelenmesi

Araştırma alanındaki doğal göknar ormanlarına ilişkin değişkenlere ait ölçüm ve tespitler ile aktüel ekolojik koşullara (klimatik, fizyografik ve edafik faktörler) ait veriler kullanılarak küresel ısınmanın etkilerine yönelik yaklaşımlar sağlamak amacıyla WorldClim verilerinden yararlanılarak araştırma alanının 2060 ve 2100 yıllarına ilişkin SSPs 245 ve SSPs 585 senaryoları çalışılmış ve araştırma alanına ilişkin 2060 ve 2100 yıllarına ait yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış değişkenlerine ait senaryo haritaları elde edilmiş ve bu haritalardan yararlanılarak genel yaklaşımlar sağlanmıştır. Bu amaçla DeMortanne ve Emberger indislerinden hesaplamalarda yararlanılmıştır.

3.2.5. Küresel Isınmanın Göknar Gençlik Kollektifleri Üzerindeki Etkilerinin Mekanik Öğrenme Algortimalarıyla Tahmini

Orman ve ağaç sınırı arasında bulunan ve üzerinde birtakım tespit ve ölçümler yapılan doğal göknar gençlik kolektiflerinin aktüel yetiştirme ortamı koşulları ve WorldClim senaryoları dikkate alınarak küresel iklim değişikliğine bağlı değişimlerinin tahmin edilmesinde kNN (K-Nearest Neighbors), LVQ (Learning Vector Quantization), SVM (Support Vector Machine), RPART (Decision Trees) ve RF (Random Forest) gibi yaygın olarak kullanılan mekanik öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Bu mekanik öğrenme algoritmalarının uygulanmasında R Studio 4.1.0 yazılımından faydalanılmıştır. Bu itibarla doğal göknar gençliklerine ve aktüel ekolojik koşullara ilişkin çok sayıda değişkenden elde edilen veri setlerinin %30'u mekanik öğrenme algoritmalarının testinde ve geriye kalan %70'i de öğrenme işlemlerinde kullanılmıştır (Çolakoğlu, 2020). Algoritmaların doğruluk değerlerinin tespitinde TP (True Positive), TN (True Negative), FP (False Positive), FN (False Negative) değerlerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla bütün ekolojik değişkenler için testler gerçekleştirilmiştir.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde doktora tezi olarak hazırlanan bu araştırmada farklı örnek alanlar üzerinde ilgili yöntemlerle gerçekleştirilen ölçüm ve tespitler sonucunda ulaşılan bilimsel bulgular tablo ve grafiksel araçlar kullanılarak verilmiş ve elde edilen bulgular araştırma konusuyla doğrudan ve dolaylı olan literatür bilgileri ile tartışılarak detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu bölümde ulaşılan bilimsel bulgular ve tartışmalar konunun daha ayrıntılı ele alınması ve daha kolay anlaşılması açısından alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.1.Meşcere Dinamiklerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Araştırmanın gerçekleştirildiği ve artım kalemlerinin alındığı orman ve ağaç sınırını oluşturan 10 bölmede 25x40m büyüklüğündeki sistematik örnekleme alanlarında yapılan ölçüm, gözlem ve değerlendirmeler sonucunda hepsi III. Bonitet sınıfında bulunan söz konusu bölmelerdeki Gcd₃ meşcere tipindeki saf göknar meşcerelerine ait aktüel meşcere dinamikleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Araştırma alanındaki Gcd₃ meşcerelerine ait örnek alanlarda meşcere dinamikleri

Bölme No	Yükselti (m)	Bakı	Örnek Alan Büyüklüğü (m)	Ort. Yaş (yıl)	Ort. Çap (cm)	Ort. Boy (m)	Ort. Ağaç Sayısı (adet)	Aktüel Meşcere Durumu
12	1848	Kuzey	25x40	92	33,5	18,2	45,3	Ara ve alt tabakaca zengin seçme kuruluşu
13	1919	Güney	25x40	91	32,7	17,3	48,7	Ara ve alt tabakaca zengin seçme kuruluşu
16/1	1970	Güney	25x40	67	25,4	13,8	51,4	Üst tabakaca zengin seçme kuruluşu
16/2	1972	Güney	25x40	73	27,3	16,4	53,6	Üst tabakaca zengin seçme kuruluşu
17	1766	Doğu	25x40	92	35,2	18,5	46,7	Üst tabakaca zengin seçme kuruluşu
18	1845	Doğu	25x40	95	37,6	20,4	49,8	Ara ve alt tabakaca zengin seçme kuruluşu
20	1930	Batı	25x40	94	36,2	19,7	50,6	Ara ve alt tabakaca zengin seçme kuruluşu
21	1960	Batı	25x40	97	40,3	22,6	54,8	Üst tabakaca zengin seçme kuruluşu
27	1977	Doğu	25x40	96	39,8	21,2	48,3	Üst tabakaca zengin seçme kuruluşu
59	1720	Kuzey	25x40	93	34,7	18,9	47,9	Ara ve alt tabakaca zengin seçme kuruluşu

Tablo 4.1'deki veriler incelendiğinde orman sınırındaki meşcerelerden alınan örnek alanlarda ortalama yaşı 67-97 arasında değişen saf göknar meşcerelerinde ortalama göğüs yüksekliği çapının 25,4-40,3cm arasında, ortalama boyun 13,8-22,6m arasında ve ortalama ağaç sayısının da 45,3-53,6 adet arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca yine Tablo 4.1'de yer alan bilgilere göre örnek alanların alındığı, ölçüm ve tespitlerin yapıldığı 10 meşcereden 5 adetinin seçme, 5 adetinin de tek tabakalı kuruluşa dönüşen saf göknar ormanı niteliğinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Batı Karadeniz Bölgesindeki değişik yaşlı koru ormanlarının optimal kuruluşlarının incelendiği bir araştırmada da, örnek alanların alındığı ormanlardaki gibi yaşları 67-97 arasında değişen III. Bonitet sınıfındaki saf göknar ormanlarında ortalama çapın 20-36 cm arasında değiştiği, ortalama boyun 15,2-23,4m arasında olduğu ve ortalama ağaç sayısının da birim alanda 27,8-46,9 arasında özellikle B tipi seçme işletmesi kuruluşundaki göknar ormanlarında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Eraslan vd., 1984). Bu konuda araştırma alanı olan Ilgaz Dağının güney yamaçlarındaki meşcere kuruluşlarının incelendiği bir diğer çalışmada da *Abies bornmülleriana*-*Pinus sylvestris* toplumunda ortalama çapın 18-55cm arasında ve ortalama boyun da 17-35m arasında değiştiği tespit edilmiştir (Öner, 2006). Yine aynı çalışmada göknarların yoğun olarak bulunduğu orman toplumlarında halihazırda seçme kuruluşun hakim olduğu ancak kimi meşcerelerde tek tabakalı kuruluşa doğru bir eğilimin de baş gösterdiği ifade edilmiştir (Öner, 2006). Bu karşılaştırmalar doğrultusunda araştırma alanındaki örnek alanlarda belirlenen aktüel meşcere dinamiklerine ilişkin bulgulara göre yüksek zon mntıkalarındaki meşcere kuruluşlarında zayıflamalar ve normal meşcere kuruluşlarına göre büyüme performanslarında belirgin düşüşler ortaya çıkmaktadır. Bu bulguları, Ilgaz'ın kuzey yamaçlarındaki subalpin ve yüksek montan kuşakta yapılan araştırmadan elde edilen sonuçlar ile Fırtına Vadisi yüksek dağ ormanlarında gerçekleştirilen stabilite ve meşcere değerini belirleme çalışmaları da desteklemektedir (Topaçoğlu vd., 2008; Yücesan vd., 2013; Yücesan vd., 2018).



Şekil 4.1: Araştırma alanındaki tek tabakalı saf göknar meşçeresi örneği

4.2.Gençlik Kollektiflerine ve Gençliklere Ait Parametrelere İlişkin Bulgular ve Tartışma

Araştırmada göknar gençlikleri ile ilgili olarak öncelikle, araştırma alanında belirlenen doğal ağaç sınırında bulunan göknar gençlik kolektiflerine ilişkin tespitler gerçekleştirilmiştir. 2019-2021 yılları arasında gerçekleştirilen bu tespitlerde gençlik kolektiflerinin çapları, boyları ve doğal ağaç sınırına olan uzaklıkları ve bu değişkenlerdeki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Gençlik kolektiflerinin çaplarıyla ilgili yıllar itibarıyla gerçekleştirilen ölçümlere ait ortalama değerler ve bu değerlere uygulanan varyans analiz ve Duncan testinin sonuçları Tablo 4.2’de ve Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Gençlik kolektiflerinin çapına uygulanan varyansın analizinin sonucu

Değişimin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<i>Gruplar Arası</i>	2	0,269	0,135	104,472	0,001
<i>Gruplar İçi</i>	57	0,073	0,001		
<i>Toplam</i>	59	0,342			

Tablo 4.2’de varyans analizi sonucu incelendiğinde yıllar itibarıyla ağaç sınırındaki göknar kolektiflerinin çapında $P<0,001$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılığın

olduğu ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda $P<0,05$ güven düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi sonucunda oluşan homojen gruplar Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Yıllar itibarıyla belirlenen gençlik kollektiflerinin ortalama çaplarına uygulanan Duncan Testinin sonucu

Yıllar	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar		
		1	2	3
2021	20	1,492		
2020	20		1,407	
2019	20			1,328

Tablo 4.3’deki sonuçlara göre doğal göknar gençlik kollektiflerinin ortalama çapları 2019 yılında 1,328m, 2020 yılında 1,407m ve 2021 yılında 1,492m olarak ölçülmüştür. Uygulanan Duncan testi sonucunda 2021 yılında ölçülen ortalama kollektif çap değeri tek başına birinci grubu, 2020 yılında ölçülen kollektif çap değeri tek başına ikinci grubu ve 2019 yılında ölçülen ortalama kollektif çap değeri de üçüncü grubu oluşturmuştur. Buna göre 2019 yılından itibaren 2021 yılına kadar geçen süreçte kollektiflerin çapında genişleme gözlemlenmiştir. Nitekim Allen vd. (2015) tarafından *Picea abies* türünde gerçekleştirilen bir araştırmada da gençlik kollektiflerinin yıllar itibarıyla sayısının azaldığı ancak çaplarında genişlemelerin olduğu tespit edilmiştir. Bu çap genişlemesi kollektiflerde genel olarak eksantrik şekilde bir yöne yani bir taraf doğru gerçekleşmiştir (Şekil 4.2). Bu durumun ortaya çıkmasında hakim rüzgar yönünün aynen olgun meşcerelerde olduğu gibi kollektiflerin bulundukları alana adaptasyonunda ve şekillenmesinde de etkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim Kanada’da yapılan bir araştırmada da hem iklim değişikliğinin hem de fizyolojik süreçlerin etkisi ile gençlik kollektiflerinde şekil değişiminin ve genişlemenin eksantrik olarak gerçekleştiği bildirilmektedir (Coates, 2002).

Arazi şekli, eğimi ve bakıdaki farklılıklar, kar örtüsünün miktarını ve süresini, toprak nemini, rüzgar etkisini, hava ve toprak sıcaklığını, ısınlamayı ve diri örtüyü belirleyebilmektedir (Ayan vd., 2002). Çolak ve Pitterle (1999), bu ekolojik farklılıklar nedeniyle yüksek dağ ormanlarında, büyük alanlarda aynı anda gençlik oluşumunun pek görülmediğini belirtmektedirler. Aynı çalışmada, daha çok tepelik, sırt gibi küçük yükseltiler ile ağaç dip kütükleri ve kalın çürük ağaçların yakın çevreleri gençleşme için uygun, küçük yetiştirme ortamları olduğu ifade edilmektedir. Üçler (2002) çalışmasında Ott

(1995)'a atfen, ladin meşcereleri gibi doğal subalpin iğne yapraklı meşcerelerde, genellikle sık, birbirinin içine girmiş küçük kolektifler şeklinde düzensiz ve bir araya yığılmış gövde dağılımlarının bulunduğunu ve ağaç grupları arasında 100'ün üzerinde yaş farklılığı ile küçük alanlar üzerinde değişik yaşlılığın olduğunu belirtmektedir. Bu saptama, yüksek dağ orman basamağında röliyef ve meteorolojik olayların maktalı ve aynı yaşlı orman formunu olanaklı kılmadığını göstermektedir.



Şekil 4.2: Konsantrik gençlik kolektifleri

Araştırmada doğal gençlik kolektifleri ile ilgili yıllar itibarıyla ölçülmek suretiyle incelenen diğer bir önemli karakterde gençlik kolektiflerinin boylarıdır. 2019, 2020 ve 2021 yıllarında ölçülen göknar gençliklerinin ortalama boy değerlerine uygulanan varyans analizi sonucunda istatistiki açıdan anlamlı farklılık ortaya çıkmamıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Gençlik kolektiflerinin boyuna uygulanan varyansın analizinin sonucu

Değişimin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<i>Gruplar Arası</i>	2	0,001	0,001	0,457	0,636
<i>Gruplar İçi</i>	57	0,067	0,001		
<i>Toplam</i>	59	0,068			

Buna göre 2019 yılında ortalama kollektif boyu 1,51 m, 2020 yılında 1,53 m ve 2021 yılında da 1,55 m olarak belirlenmiştir. Bu konuda A.B.D’de yapılan bir araştırmada da gençlik kollektiflerinin boyları açısından önemli farklılıkların olmadığı daha çok çap değişimlerinin meydana geldi ve bu durumun alana gençliğin yayılması ve tutunması açısından çok önemli olduğu açıklanmıştır (Elliott ve Cowell, 2015). Bu konuda *Abies alba*’da yapılan bir diğer araştırmada da doğal gençlik topluluklarının oluşturduğu genel yapı ve şekilde daha çok genişleme ve daralma boyutunda farklılığın olduğu belirlenmiştir (Fajardo ve McIntire, 2012). Bu karşılaştırmalara bağlı olarak yapılan değerlendirmelere göre de araştırma bulguları bu araştırmadan elde edilen sonuçları ve değerlendirmeleri önemli ölçüde desteklemektedir.

Araştırmada doğal göknar gençlik kollektiflerinin doğal ağaç sınırından orman sınırına doğru olan uzaklıkları da yıllar itibarıyla ölçülmüş ve elde edilen ortalama veriler üzerinde varyans analizi ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Gençlik kollektiflerinin doğal ağaç sınırına olan uzaklıklarına uygulanan varyansın analizinin sonucu

Değişimin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<i>Gruplar Arası</i>	2	0,051	0,026	34,712	0,001
<i>Gruplar İçi</i>	57	0,042	0,001		
<i>Toplam</i>	59	0,093			

Tablo 4.5’deki bulgulara göre 2019, 2020 ve 2021 yıllarında doğal göknar gençlik kollektiflerinin alanda belirlenen kollektiflerinin doğal ağaç sınırından orman sınırına doğru olan uzaklıklarının ölçülmesiyle elde edilen ortalama değerler arasında tek yönlü varyans analizinin sonucuna göre $P<0,001$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda yıllar arasında homojen grupları belirlemek için %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen Duncan Testi sonucunda 2 adet homojen grupta yıllar gruplandırılmıştır (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Yıllar itibarıyla belirlenen gençlik kolektiflerinin doğal ağaç sınırına olan ortalama uzaklıklarına uygulanan Duncan Testinin sonucu

Yıllar	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar	
		1	2
2021	20		1,846
2020	20	1,901	
2019	20	1,913	

Tablo 4.6’de yer alan Duncan testi sonuçlarına göre doğal göknar gençlik kolektiflerinin doğal ağaç sınırına olan uzaklıklarına ilişkin 2020 yılında ölçülen 1,901 m ile 2019 yılında ölçülen 1,913 m uzaklık değerleri ilk grubu oluştururken, 2021 yılında ölçülen ortalama uzaklık değeri olan 1,846 m uzaklık değeri tek başına ikinci grupta yer almıştır. Buna göre araştırma alanındaki doğal göknar gençlik kolektifleri bireysel olarak ağaç sınırının üzerinde yıllara göre belirli bir uzaklık oluşturmalarına karşın araştırma süresince alanda belirlenen doğal ağaç sınırının (1982 m) değişmediği saptanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Doğal ağaç sınırı ve göknar gençlik kolektiflerinin durumu

Bu konuda yapılan bir araştırmada da gerek yatay mesafede gerekse yükselti kademeleri şeklinde gerçekleştirilen ölçümler ve analizler sonucunda doğal ağaç sınırındaki gençlik ya da vejetasyon topluluklarının ya da kümelerinin iklim değişikliğinin etkileri ile ilişkilendirilemediği belirtilmiştir (Holtmeir ve Broll, 2005). Bu konuda Sibirya’da sarıçam ormanlarında yapılan bir başka araştırmada da gençlik kolektiflerinin doğal ağaç ve polar sınırına göre düzensiz dağılım gösterdiği ancak bu durumun özellikle iklim değişikliği ile tek başına açıklanamadığı ve genel olarak doğal ağaç sınırında bir değişimin meydana gelmediği bildirilmiştir (Kharuk vd., 2010). Yine bu konuda İsveç’te yapılan bir başka çalışmada da doğal kolektifle ile doğal ağaç sınır arasındaki değişimle ilgili yaş faktörü başta olmak üzere çeşitli değişkenlerin ilişkisi incelenmiş ve yaklaşık 15 yıllık bir araştırma sonucunda hem kolektiflerdeki bireylerin yaşı hem de doğal ağaç sınırı arasında

çok önemli ilişkiler ve bunlara bağlı değişimler bulunamamıştır (Kullman ve Öberg, 2009). Bu konuda Himalayalardaki huş ormanlarında bulunan vejetasyon grupları üzerinde yapılan bir başka bilimsel çalışmadan da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Liang vd., 2014). Yine Tibet Bölgesindeki göknar ormanlarında da doğal gençlik kümeleri ve nüveleri zaman zaman doğal ağaç sınırının üzerinde yer almasına karşın bu durumun türün üst rejyonlara özellikle iklim değişikliği nedeniyle çıkış eğilimine başladığını düşündürdüğünü ancak belirgin olarak kitlesel orman vejetasyonunda ve ona ait olan doğal ağaç sınırında bir değişimin henüz gözlemlenmediği saptanmıştır (Liu ve Yin, 2013). Bu karşılaştırmalı bilgilere göre araştırma alanını oluşturan Ilgaz Dağında doğal göknar gençlik küme ve nüvelerinin küresel ısınma başta olmak üzere daha bir çok biyotik ya da abiyotik faktörün etkisiyle türün devamlılığını sağlamak ve hayatiyetini devam ettirmek için üst rejyonlara ya da daha yüksek rakım basamaklarına doğru ilerleme ve çıkma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte bu eğilimin henüz doğal ağaç ve orman sınırını değiştirecek nitelikte olmadığı sonucuna ulaşmamızı destekler nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, doğal göknar gençlik kolektiflerinde gençliklere ait ortalama boy, ortalama kök boğaz çapı ve metrekaresindeki gençlik sayısı gibi kantitatif karakterler de yıllar itibarıyla (2019-2021) belirlenmiştir. Ancak kolektiflerdeki gençliklerin yaşları farklılık göstermesi nedeniyle sadece yıllar itibarıyla kolektiflerde belirlenen metrekaresindeki gençlik sayısına ait ortalama değerlere varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır.

Doğal ağaç sınırında yer alan göknar gençlik kolektiflerinde bulunan 5-17 arasında değişen farklı yaşlardaki genç göknar bireylerinin ortalama boy değerleri Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Kümelerdeki farklı yaşlı göknar bireylerinin yıllara göre ortalama boy değerleri

Yıllar	Ort. Boy (cm)
2019	5,3
2020	6,4
2021	7,2

Araştırma alanında doğal ağaç sınırında bulunan farklı yaşlardaki Gökmar gençlik kümelerinin ortalama boyu 2019 yılında 5,3cm, 2020 yılında 6,4cm ve 2021 yılında da 7,2 cm olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.7). Ekstrem yetişme ortamı koşullarının hakim olduğu montan, submontan ve subalpin zonlardaki orman ve ağaç sınırını doğal olarak oluşturan ağaç türlerinin gençliklerine ilişkin gençlik dinamizimlerinin incelendiği araştırmaların sayısı ülkemizde çok fazla değildir. Bu tür araştırmalar daha çok türün normal yani optimal ya da optimale yakın kuşaklarda yayılım yaparak oluşturduğu ormanlardaki doğal gençlik gelişim performansına ilişkin bulunmaktadır. Bu nedenle söz konusu bu araştırmada elde edilen ortalama boy değerleri ile ilişkin tartışmalar daha çok araştırma materyalini oluşturan gökmar ile benzer silvikültürel özellikler gösteren yabancı türlerin gençliklerine ilişkin bulgular ile karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu anlamda 10 yıllık değişen yaş grupları içinde *Abies alba* türüne ait gökmar gençliklerinde gerçekleştirilen bir araştırmada değişik yaşlı yapıya bağlı olarak subalpin ve alpin zonda ortalama boyun normal yetişme ortamı koşullarındakinden %32 daha düşük olduğu ve bu durumun tamamen yetişme ortamında yaşanan ekstrem değerlerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Camarero vd., 2017). Bu konuda kuzey yarımkürede gerçekleştirilen dendrokronolojik çalışmalardan elde edilen bulgularda da ekstrem koşulların hakim olduğu bu zonlarda büyümenin ekolojik koşullardan özellikle toprak koşullarından ve yaşanan sert ve kurak ortam koşullarından dolayı yavaş ve düşük bir performans ile ilerlediği ve doğal olarak alt rejonlara göre büyüme kayıplarının meydana geldiği ifade edilmiştir (Lyu vd., 2019). Bu karşılaştırmalı bilgiler ışığında farklı yaş gruplarında da olsa ekstrem yetişme ortamı koşullarının hakim olduğu araştırma alanında gökmar gençliklerinin büyüme performanslarında alt yükselti kademelerindekine göre önemli düşüşler ve daha yavaş ilerlemeler olduğunu söylemek mümkündür. Ancak bu durum dahi birçok ekolojik olayın başlangıç noktası olması nedeniyle söz konusu gökmar gençliklerinin bu yükselti kademelerindeki bulunuşunun önemini azaltmamaktadır (Şekil 4.4). Bakı ve yükselti faktörlerine göre gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda bakı ve yükselti kademeleri için gençlik kolektiflerinin ortalama boy büyümesi açısından istatistiki anlamda önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.4: Alanda farklı yaşlardaki göknar gençlik kolektifleri

Araştırma kapsamında doğal gençlik kolektiflerini oluşturan farklı yaşlardaki doğal göknar gençliklerinin kök boğaz çapı gelişimleri de yıllar itibarıyla (2019-2021) incelenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Kolektiflerdeki değişikyaşlı göknar bireylerinin yıllara göre ortalama kök boğazı çapı değerleri

Yıllar	Ort. Kök Boğaz Çapı (mm)
2019	15,6
2020	18,9
2021	22,4

Yapılan değerlendirmeler sonrasında farklı yaşlardaki göknar gençliklerinde ortalama kök boğaz çapı 2019 yılında 15,6mm, 2020 yılında 18,9mm ve 2021 yılında 22,4mm olarak saptanmıştır (Tablo 4.8). Ortalama boy büyümesi değerlerinde olduğu gibi ekstrem ekolojik koşulların hakim olduğu araştırma alanındaki değişikyaşlı göknar bireylerinde ortalama kök boğaz çapı gelişimi de daha düşük yükselti kademelerindeki optimal yayılış

alanlarına göre çok daha düşük gerçekleşmiş ve çok daha yavaş bir büyüme seyri ortaya çıkmıştır. Bu konuda da yerli kaynakların yetersizliğı nedeniyle yabancı literatürlerde yer alan bulgular ile yapılan karşılaştırmalarda başta Akdeniz Havzası olmak üzere yükseltiye bağılı olarak iki meşe türünde önemli değışimlerin meydana geldiğı toprak ve iklim koşulları nedeniyle ağaç sınır hattında bulunan tüm ağaç türlerinin hemen hemen tüm gelişim çağlarında büyüme gerilemelerinin ortaya çıktığı ve özellikle ilk gençlik yıllarında bu durumu yansıtan önemli kantitatif karakterlerden birisinin de kök boğaz çapı ve kök gelişimi olduğı ve bu düşük gelişim performansının bitkilerin zaten yetersiz olan toprak nemi ve besin elementleri ekonomisinden düşük düzeyde faydalanabildiğı belirtilmiştir (Rutten ve Gomez-Aparicio, 2018). Yine bu konuda Avrasya Alp kuşağında doğal ağaç sınırı bölgelerinde Avrupa ve Balsam göknar türlerinin de içinde bulunduğı çeşitli ağaç türlerinin büyüme performanslarında önemli düşüşlerin ve gerilemelerin olduğı ancak bu bireylerde büyüme performansından daha ziyade bu ekstrem koşullarda bireylerin alanda kalmasının çok daha önemli olduğı vurgulanmaktadır (Sanchez-Salguero vd., 2018). Bu karşılaştırmalı bulgular çerçevesinde araştırma alanındaki farklı yaşlardaki göknar bireylerinde ortalama kök boğaz çapı gelişiminde belirlenen düşük değıerlerin bireylerin topraktaki su ve besin elementlerinden yeterince yararlanamadığını gösterdiği söylenebilir (Şekil 4.5). Gençlik kollektiflerinin ortalama boy büyümeinde olduğı gibi ortalama kök boğaz çapı değıerlerinde de bakı ve ükselti kademelri için istatistiki anlamda önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.5: Göknar gençliklerinin farklı düzeylerdeki kök boğaz çapı gelişimi

Araştırmada yıllar itibarıyla gençlik kolektiflerinde bulunan doğal ve değişikyaşlı göknar bireylerine ilişkin belirlenen diğer bir önemli parametre de metrekaresindeki gençlik sayısıdır. Bu parametre türün adaptasyonu için önemli olduğu kadar orman kaynaklarının başta küresel ısınma olmak üzere çeşitli biyotik ve abiyotik faktörler nedeniyle doğal sınırlarındaki değişiminin belirlenmesi ve ortaya konulması için de önemlidir. Bu kapsamda yıllar itibarıyla metrekaresinde belirlenen doğal göknar gençliklerinin sayısına uygulanan varyans analizi sonuçları Tablo 4.9’da sunulmuştur.

Tablo 4.9: Gençlik kolektiflerinde metrekaresindeki doğal gençlik sayılarına uygulanan varyansın analizinin sonucu

Değişimin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<i>Gruplar Arası</i>	2	0,287	0,145	114,563	0,001
<i>Gruplar İçi</i>	57	0,081	0,001		
<i>Toplam</i>	59	0,368			

Tablo 4.9’deki varyans analizi sonuçlarına göre, yıllar itibarıyla göknar gençlik kolektiflerinde yer alan farklı yaşlardaki doğal göknar gençliklerinin metrekaresindeki sayıları arasında $P<0,001$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılığın ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu itibarla $P<0,05$ güven düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi sonucun Tablo 4.10’da gösterilmiştir.

Tablo 4.10: Yıllar itibarıyla belirlenen ortalama metrekaresindeki doğal gençlik sayılarına uygulanan Duncan Testinin sonucu

Yıllar	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar		
		1	2	3
2019	20	15,73		
2020	20		12,46	
2021	20			9,38

Tablo 4.10’deki sonuçlara göre ortalama metrekaresindeki doğal göknar gençlik sayısı 2019 yılında 15,73 adet olup bu değer ile 2019 yılı ilk homojen grupta yer almıştır. Bu grubu 12,46 adet ile 2020 yılı ikinci grupta yer alarak takip etmiştir. 2021 yılı ise 9,38 adet ortalama metrekaresindeki doğal gençlik sayısı ile son homojen grubu tek başına

oluşturmuştur. Duncan testi sonucunda ortaya çıkan homojen gruplardan da anlaşılacağı üzere 3 yıllık süreçten metrekaredeki ortalama doğal gençlik sayısında belirgin bir azalış ortaya çıkmıştır. Bu durumun görülmesinde ve gözlemlenmesinde küresel ısınmanın etkileri olmakla birlikte çok sayıda biyotik ve abiyotik faktörün kombine ve kompleks etkileri de söz konusu olabilir. Bu faktörlerin doğal gençlik sayısı ve gelişim performansı üzerindeki etkilerini birbirinden ayırmak oldukça güçtür. Bu nedenle gençlik sayısındaki azalmanın hangi faktörün etkisine bağlı olarak meydana geldiği kesin olarak araştırma süresince belirlenememiş sadece aktüel durum ortaya konularak uygulamacılar açısından araştırma alanındaki göknar ormanlarının yönetim stratejileri belirlenirken yararlı olunabilecek yaklaşımların sağlanması amaçlanmıştır. Nitekim bu konuda yapılan bir araştırmada da yüksek rakımlarda yer alan *Pinus mugo* alanlarında meşcere stabilitesinden, gençliklerin oluşumu ve bireysel büyümeden meşcere gelişimine kadar çevresel faktörlerin küresel iklim değişikliğinin de yüksek etkisiyle önemli farklılıklar meydana getirdiği ancak bu olayların açıklanmasında bu durumun tek başına yeterli olmadığı hatta bu konuda genetik faktörlerin de önemli bir etki derecesinin bulunduğu bildirilmektedir (Gonzalez-Diaz vd., 2020). Bu konuda yapılan bir diğer araştırmada da özellikle doğal ağaç sınırına yakın kısımlarda bulunan gençlik ve vejetasyon kolektiflerinde yaşanan hayatta kalma mücadelesi ve yüksek adaptasyon süreci nedeniyle her yıl kolektif mevcudiyetinde ortalama %23-45 arasında değişen kayıpların olduğu açıklanmıştır (Germino vd., 2002). Bu karşılaştırmalı bilgiler ışığında göknar gençliklerinde yıllar itibarıyla küresel ısınma da dahil olmak üzere çeşitli biyotik, genetik ve abiyotik faktörlerin etkisiyle önemli azalmaların meydana geldiği ancak bu durumda dahi alanda kalan az sayıdaki gençliğin önemli olduğu ve doğal ekolojik çevrenin ve dengenin korunmasına hizmet ettiği ve önemli katkılar sağladığı ortaya çıkmıştır.

4.3.Yıllık Halka Analizlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Yıllık halka analizinde alınan karotlarda yapılan ölçüm ve sayım sonuçları ilk olarak Tricycle programı ile uzantısı .rwl dosyası haline dönüştürülen excel dosyaları (her bir örnek için) Corina programı ile Ccrossdate'e tabi tutulmuştur. Kastamonu yöresine ait daha önce doğruluğu test edilmiş olan 1901-2000 yıllarına ait Gökmar verileri ile (Köse, 2012) yapılan karşılaştırmada örneklerin örtüşme süresinin ağaçların yaşlarına bağlı olarak 40 ile 75 yıl arasında değiştiği görülmektedir. Bu doğrultuda her bir karot örneğine ait Crossdate

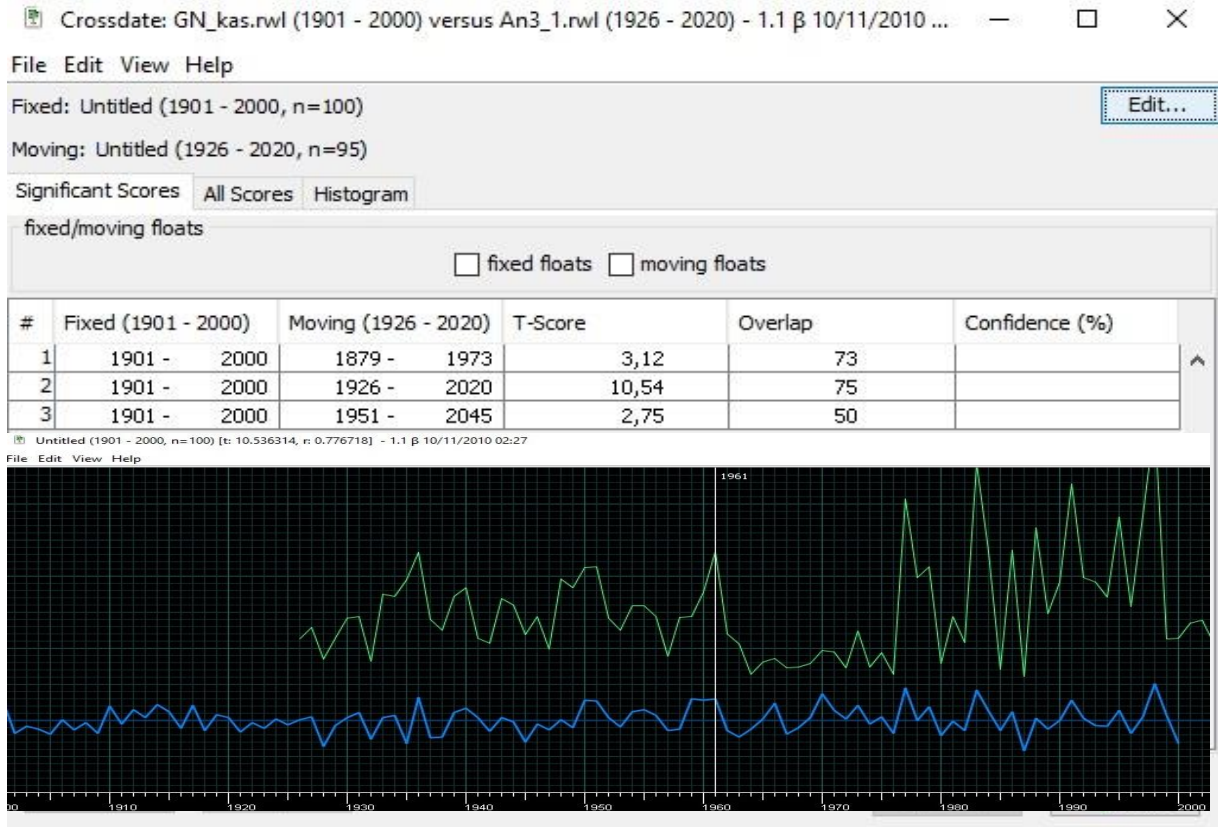
değerleri ve grafiği ile T Skoru değerleri aşağıda belirtilen program çıktısını içeren şekillerde ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil4.6-4.25).



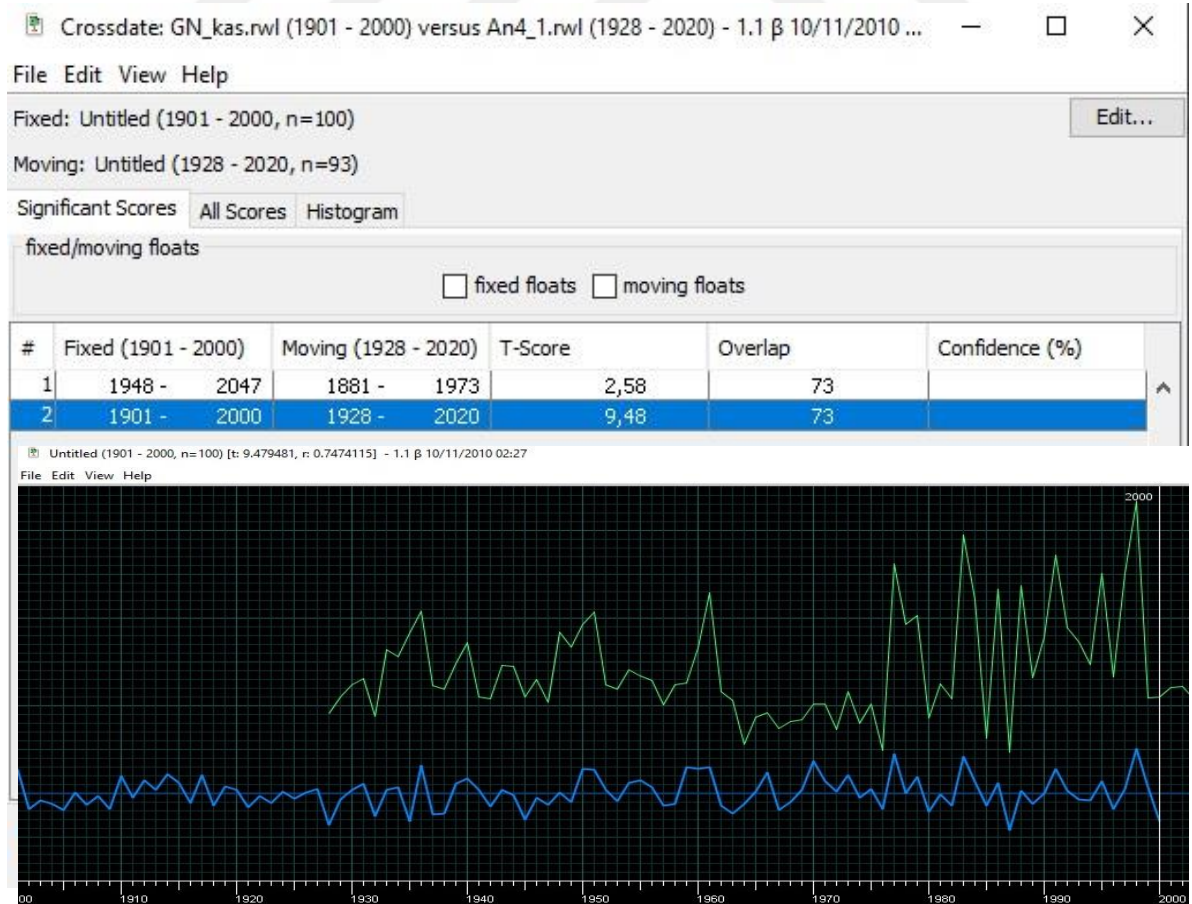
Şekil 4.6: 1 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



Şekil 4.7: 2 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



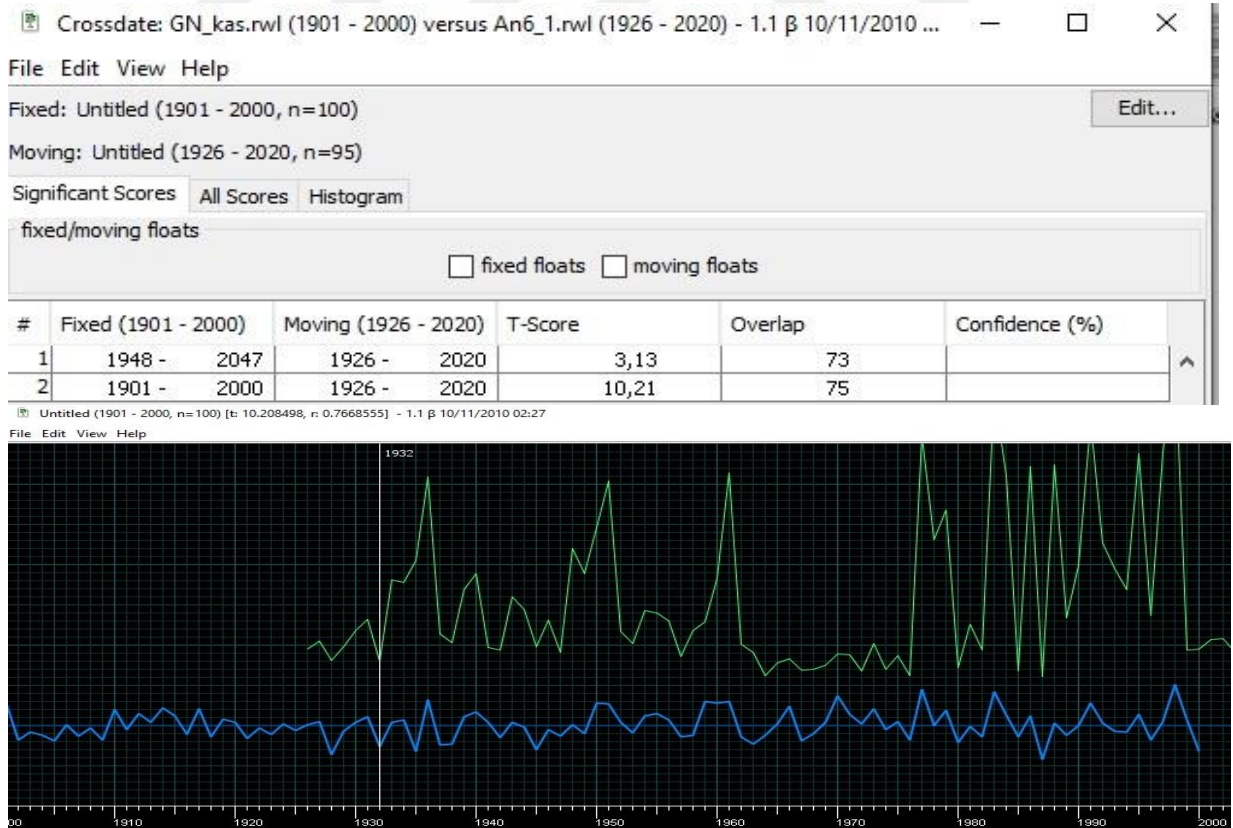
Şekil 4.8: 3 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



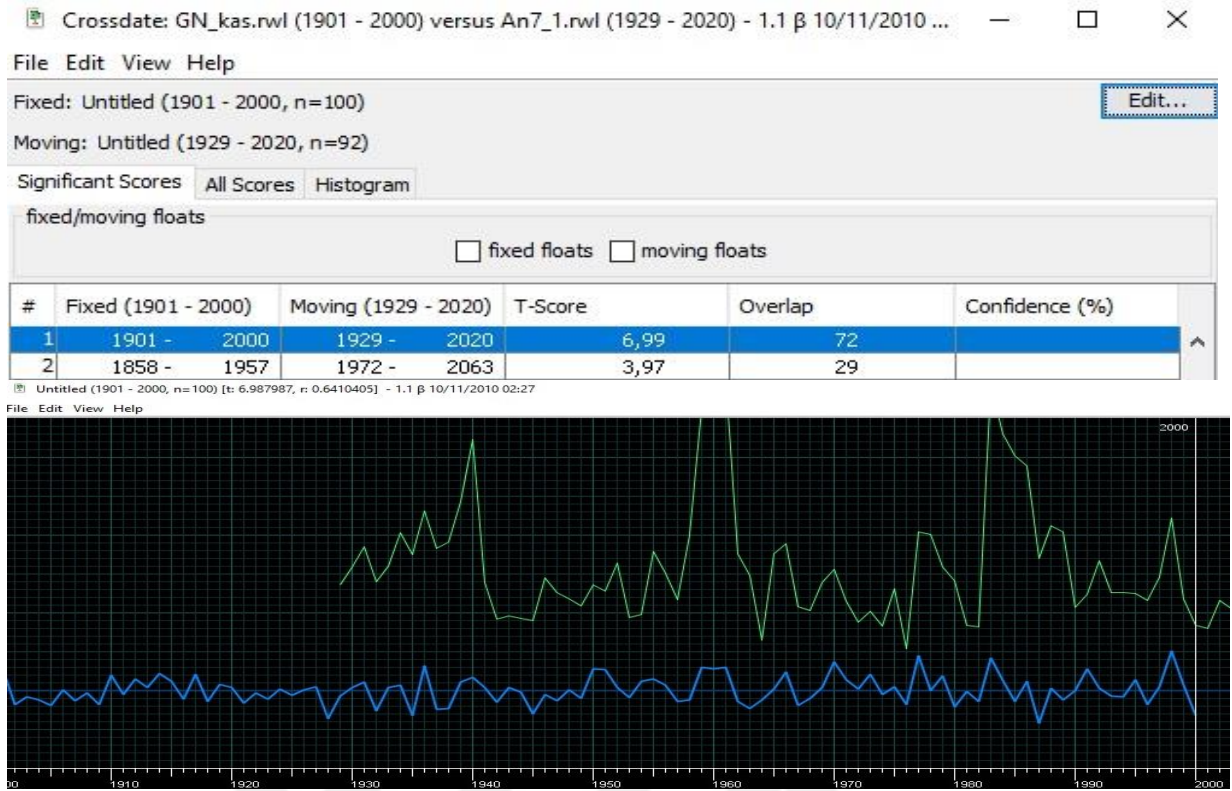
Şekil 4.9: 4 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



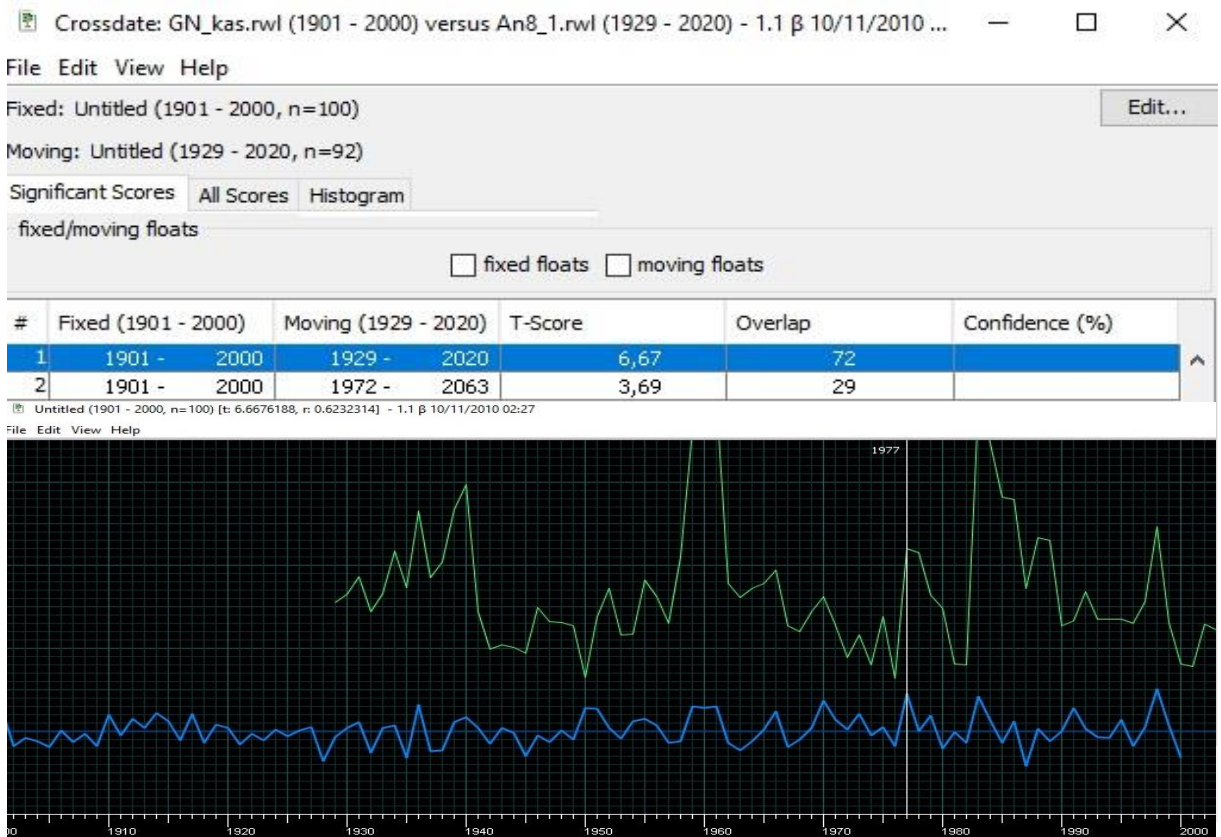
Şekil 4.10: 5 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



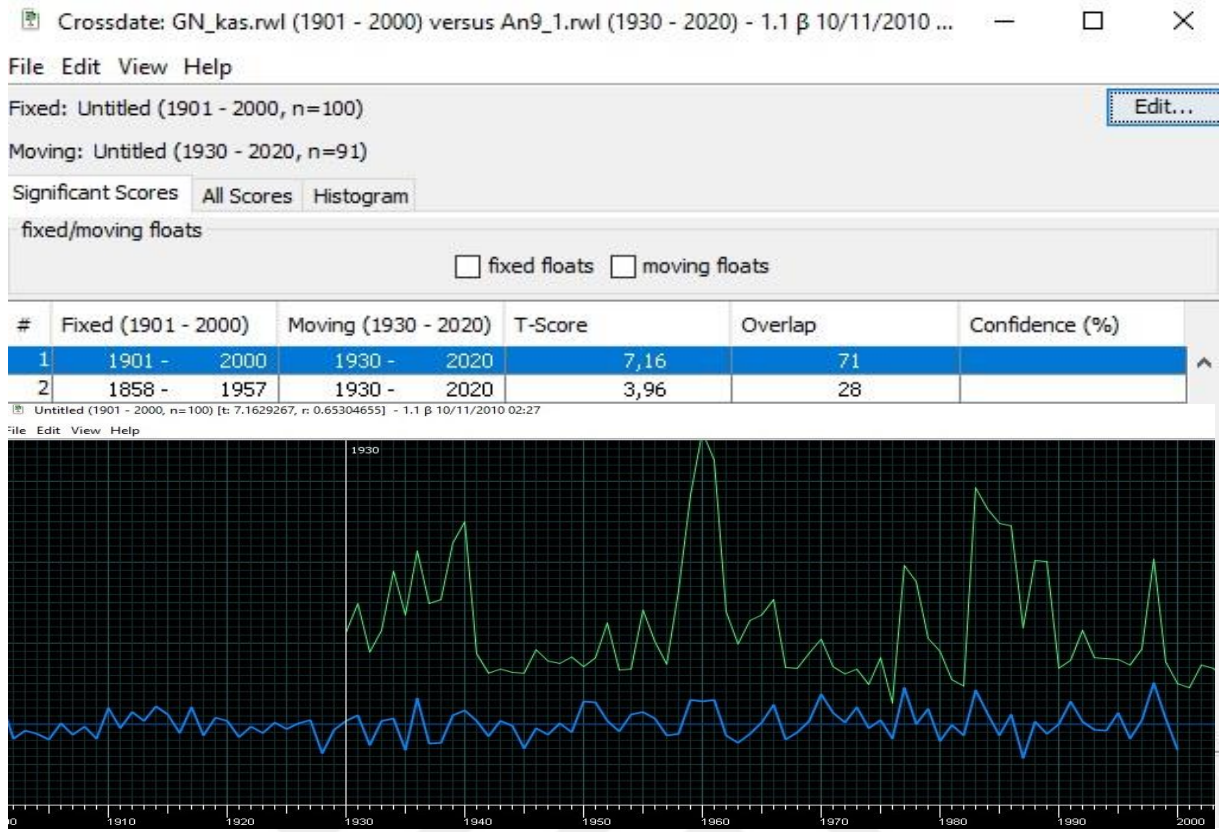
Şekil 4.11: 6 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



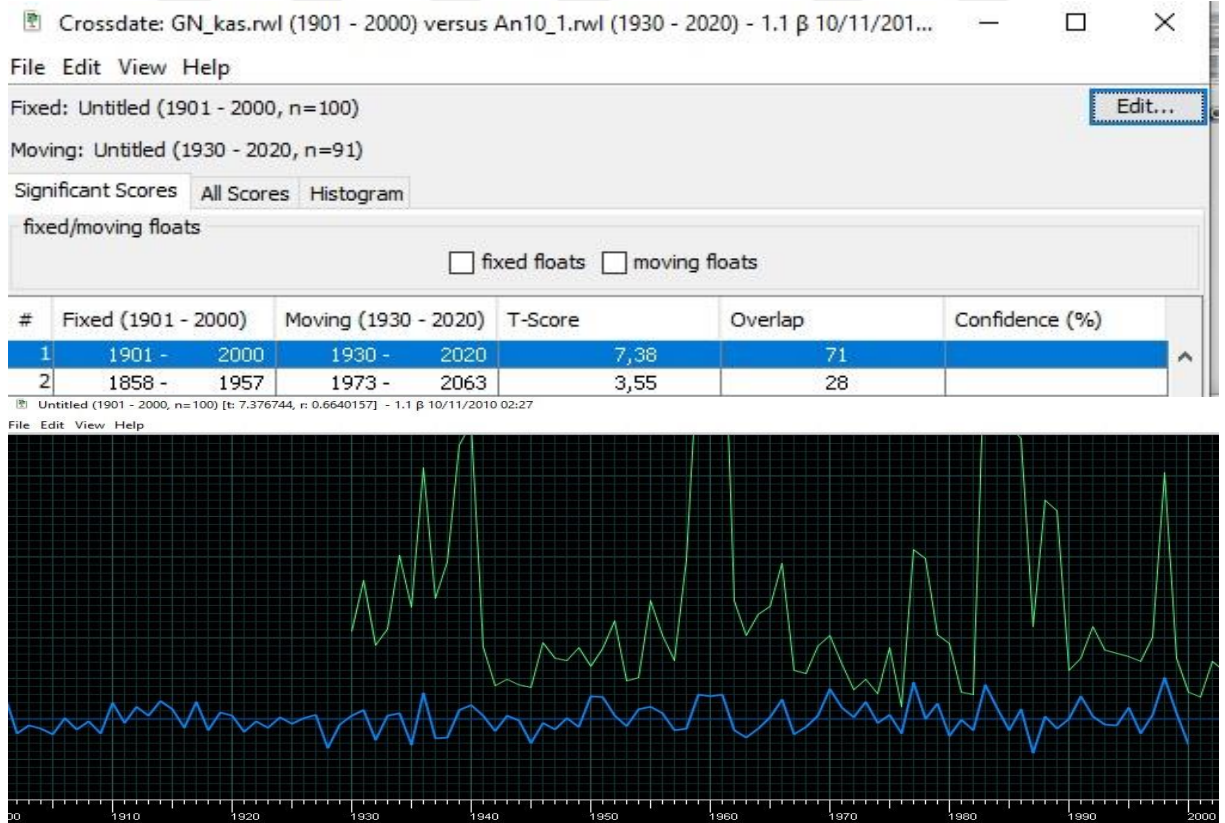
Şekil 4.12: 7 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



Şekil 4.13: 8 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



Şekil 4.14: 9 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



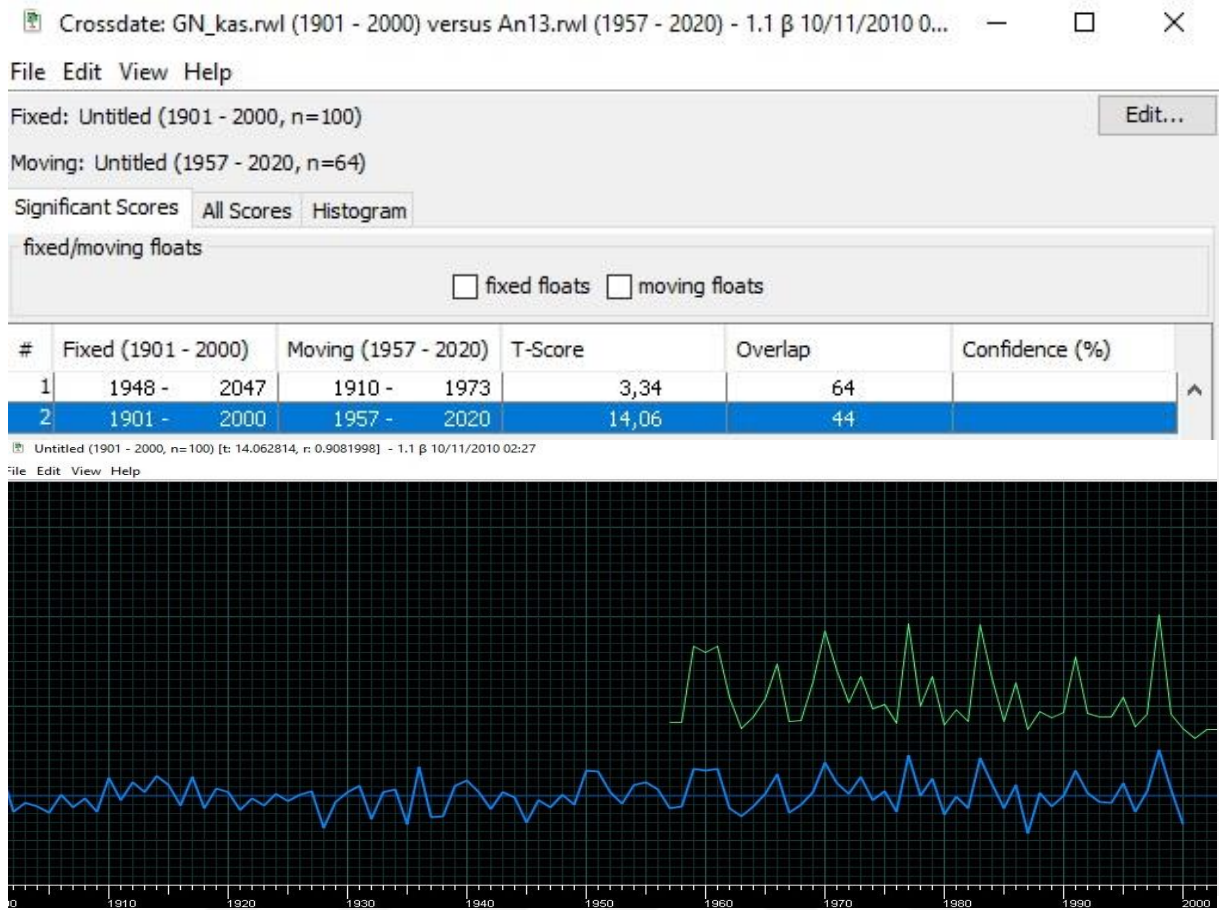
Şekil 4.15: 10 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



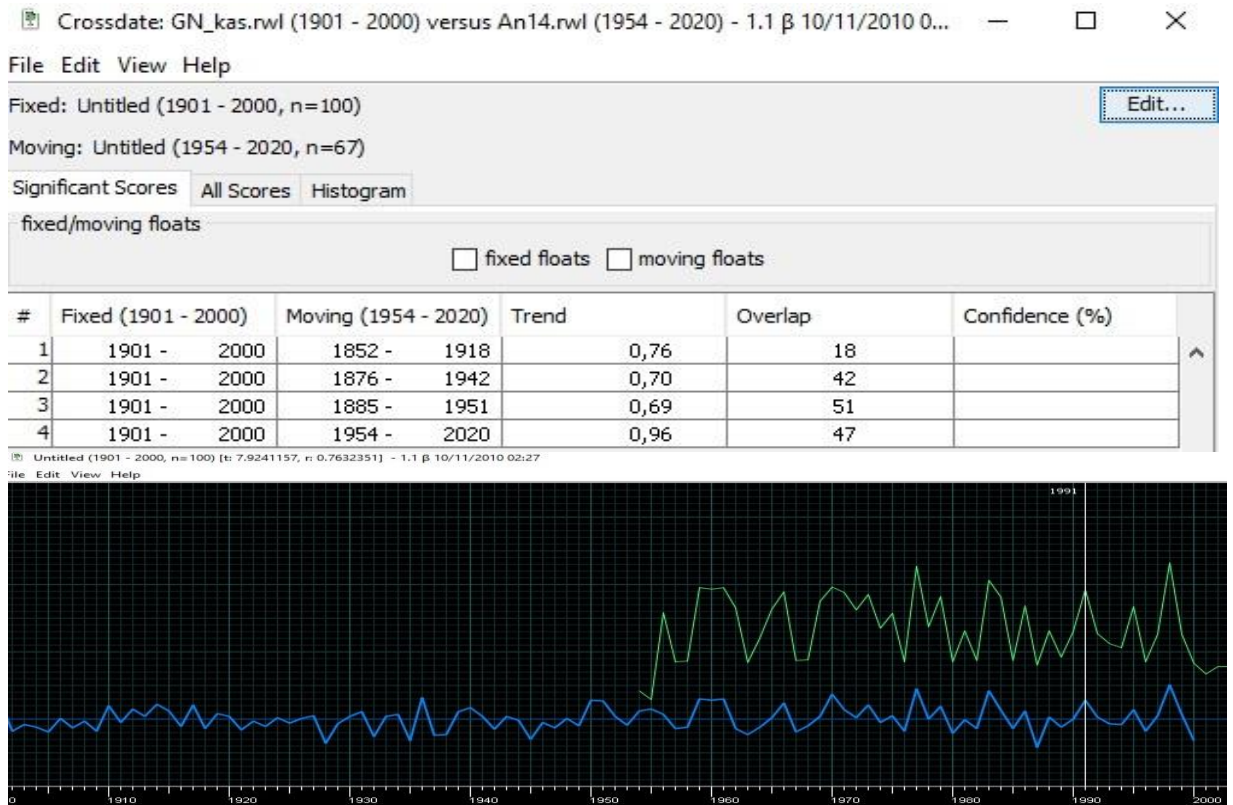
Şekil 4.16: 11 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



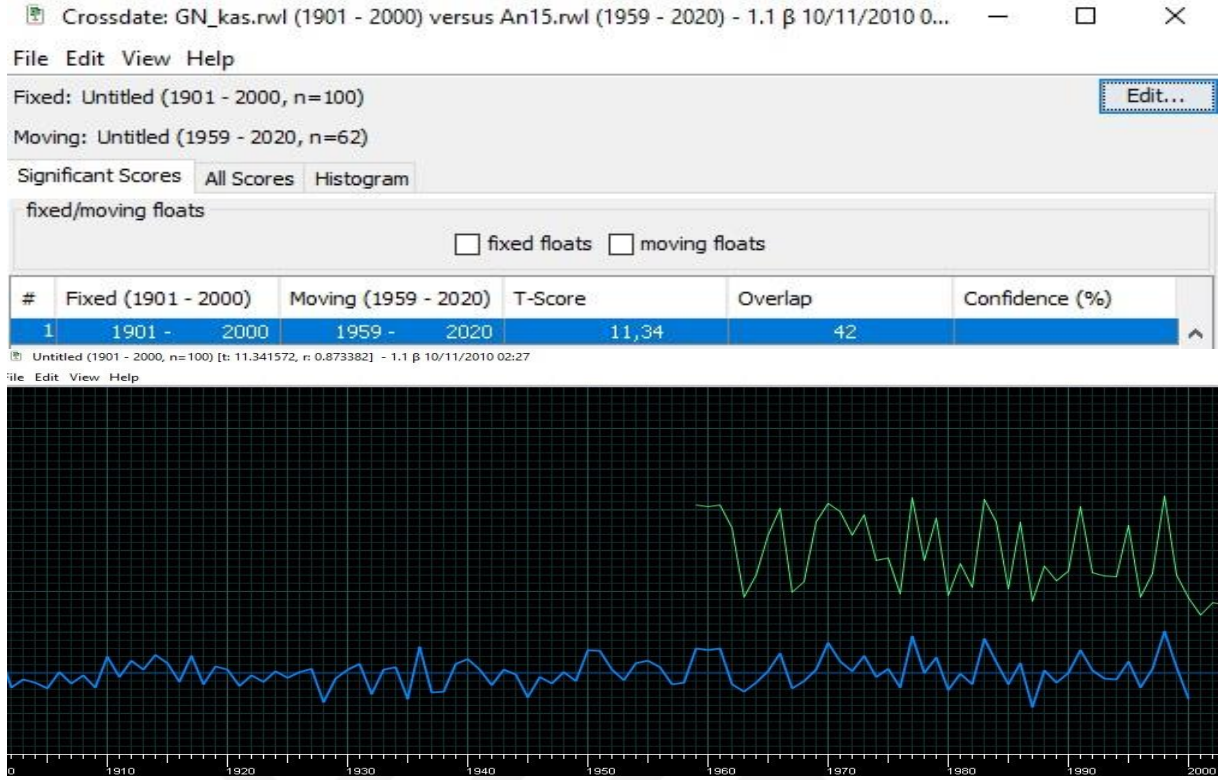
Şekil 4.17: 12 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



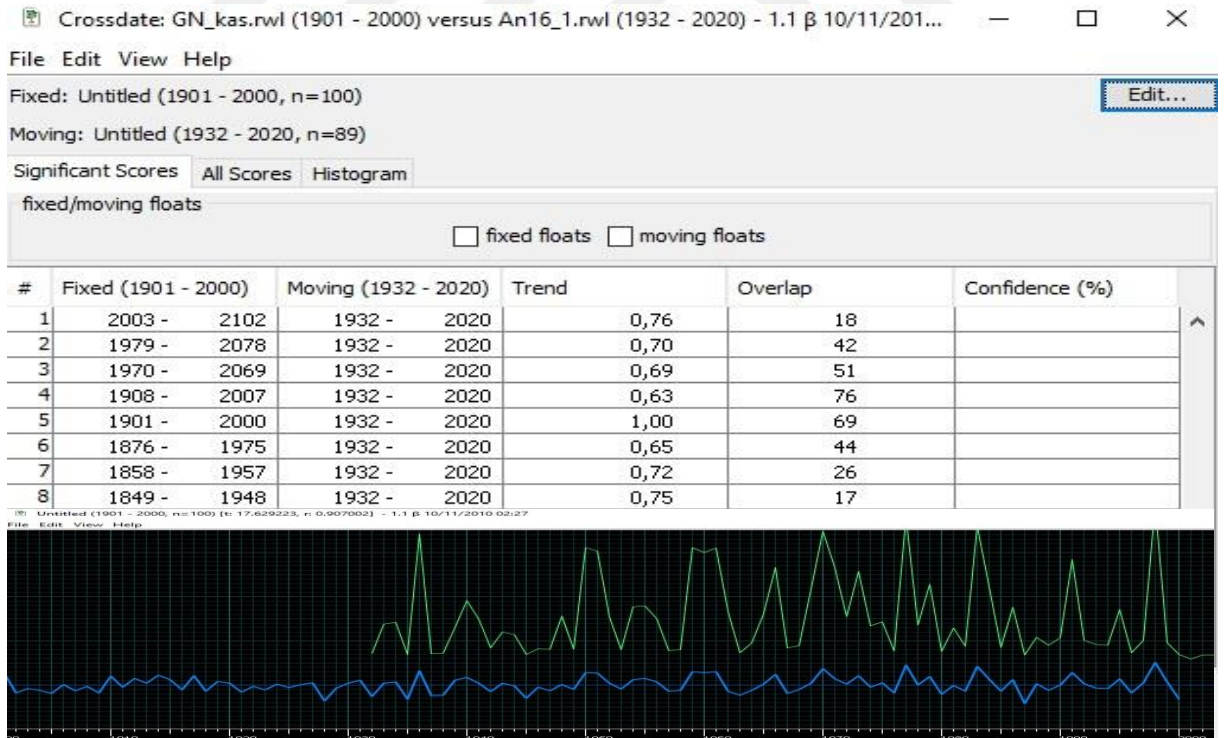
Şekil 4.18: 13 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



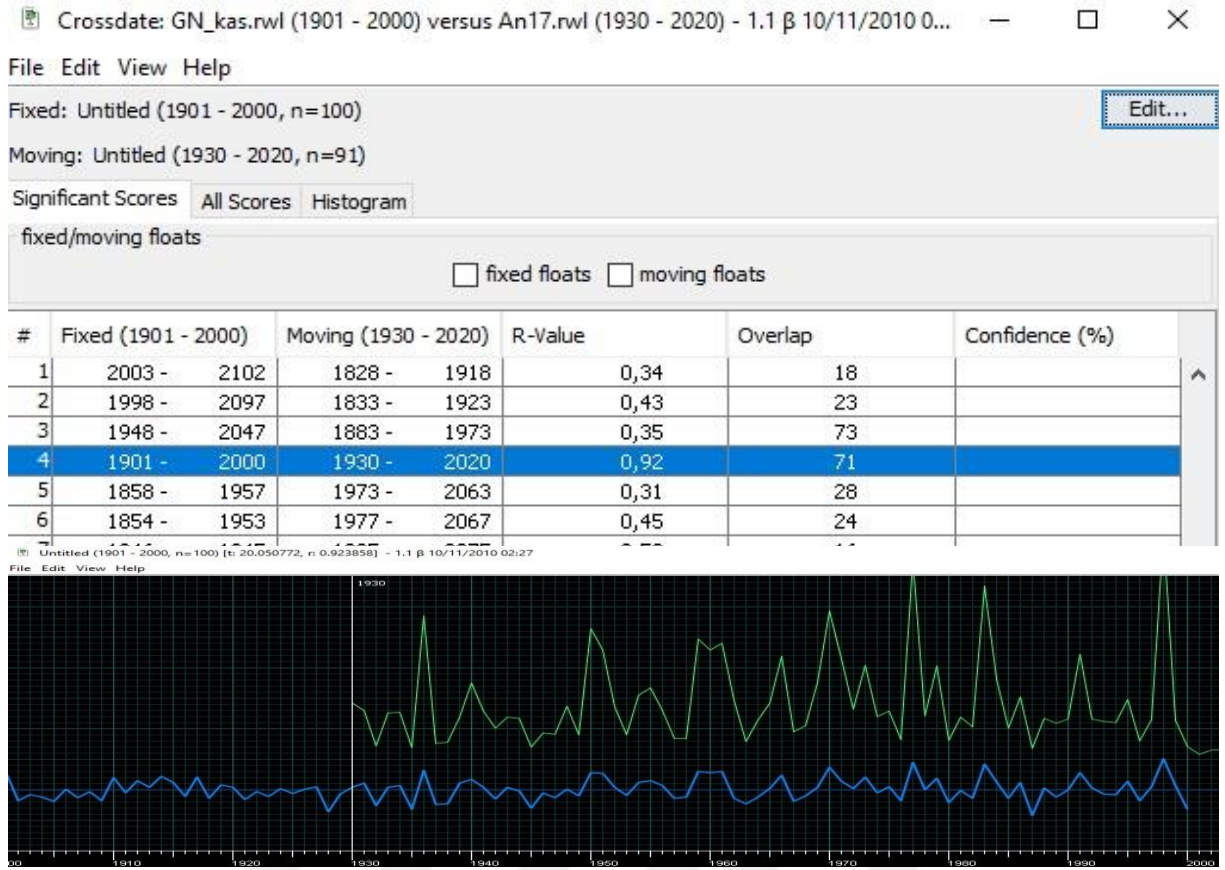
Şekil 4.19: 14 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



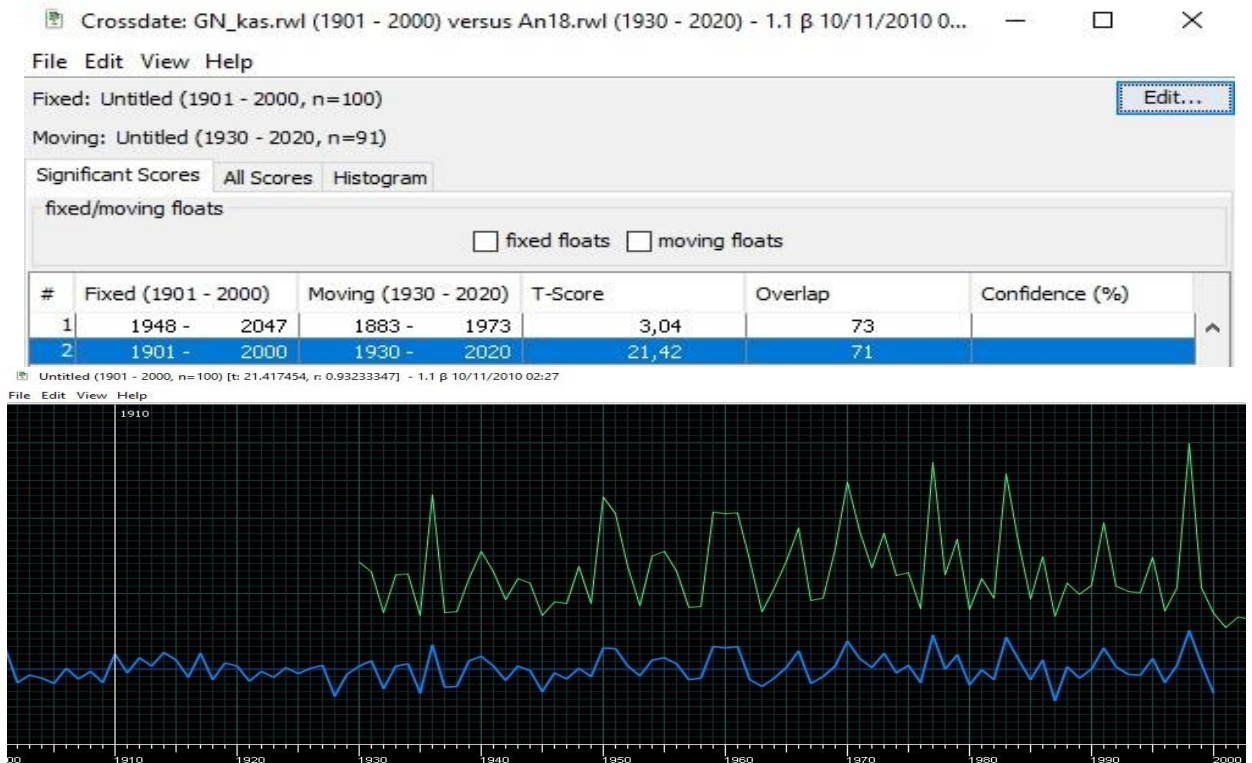
Şekil 4.20: 15 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



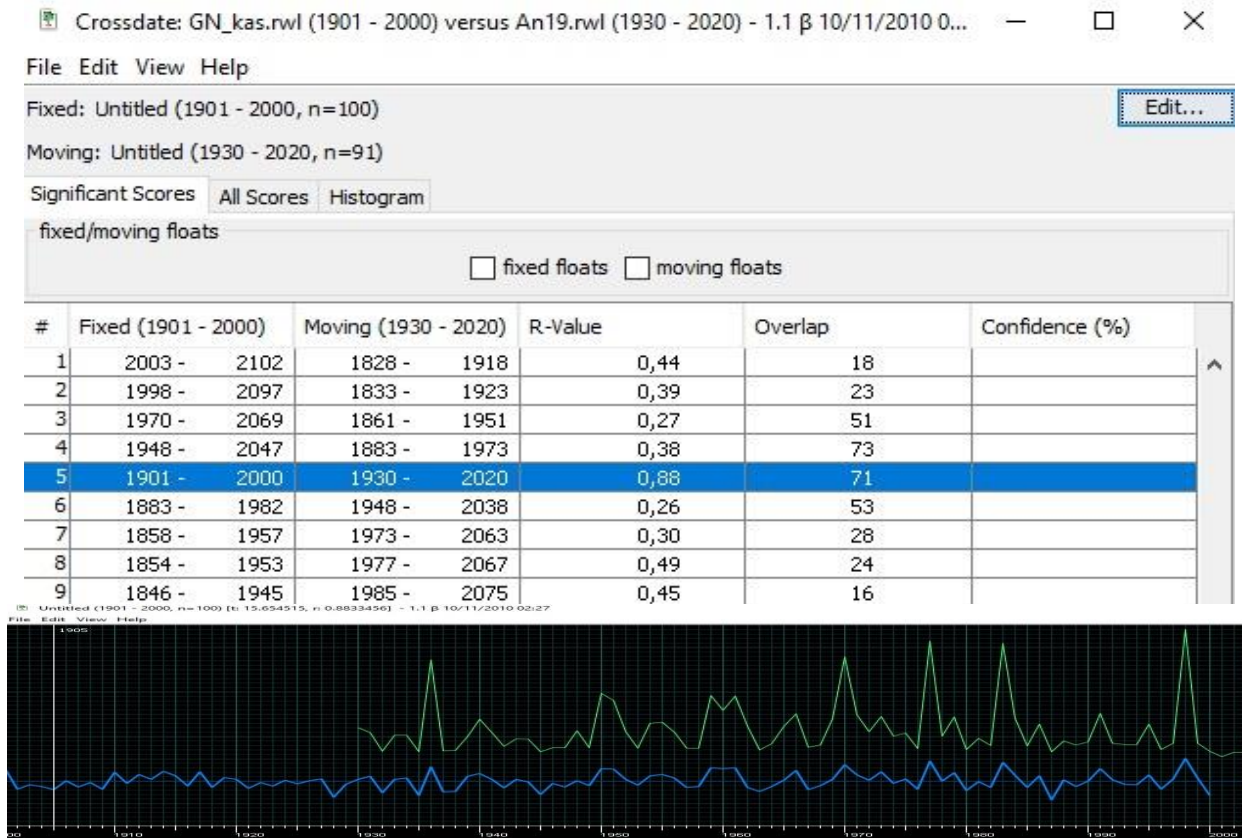
Şekil 4.21: 16 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



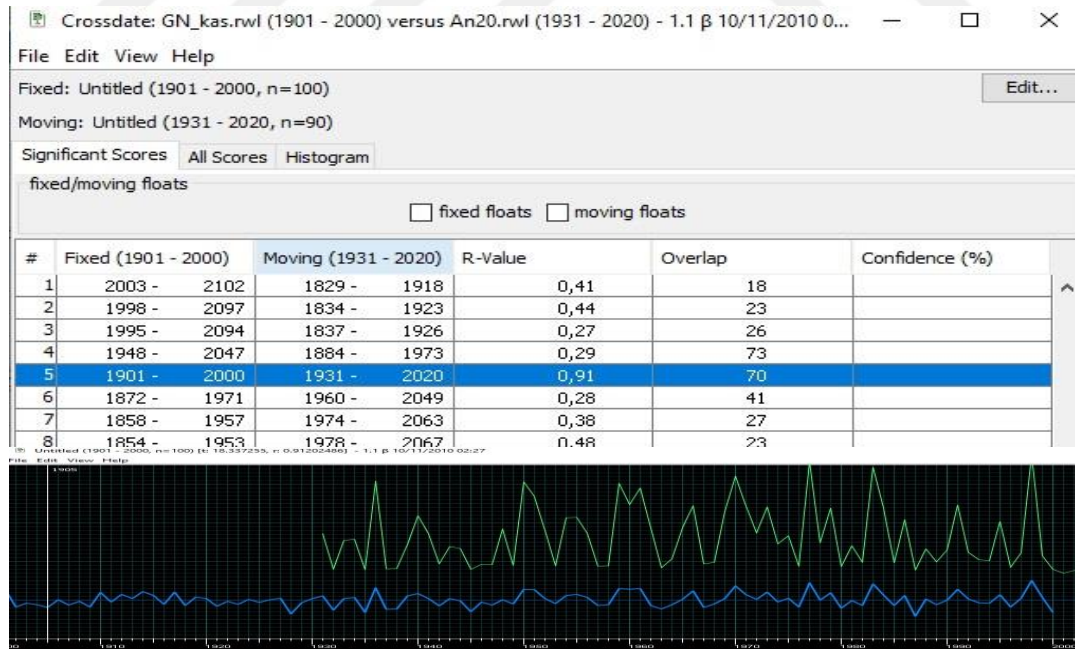
Şekil 4.22: 17 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



Şekil 4.23: 18 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



Şekil 4.24: 19 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği



Şekil 4.25: 20 Nolu örneğe ait Crossdate değerleri ve grafiği

Her bir örneğin örtüşme değerleri Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo4.11: Yirmi adet örneğe ait Crossdate işleminin örtüşme değerleri

Örnek No	Sabit Veri	Hareketli Veri	Trend	R-Değeri	T-Skoru	Örtüşen Süre
1	1901-2000	1930-2020	0,85	0,68	7,63	71
2	1901-2000	1931-2020	0,79	0,62	6,49	70
3	1901-2000	1926-2020	0,90	0,78	10,54	75
4	1901-2000	1928-2020	0,88	0,75	9,48	73
5	1901-2000	1927-2020	0,88	0,71	8,61	74
6	1901-2000	1926-2020	0,89	0,77	10,21	75
7	1901-2000	1929-2020	0,82	0,64	6,99	72
8	1901-2000	1929-2020	0,82	0,62	6,67	72
9	1901-2000	1930-2020	0,83	0,65	7,16	71
10	1901-2000	1930-2020	0,83	0,66	7,38	71
11	1901-2000	1961-2020	1,00	0,88	11,30	40
12	1901-2000	1956-2020	0,99	0,90	13,74	45
13	1901-2000	1957-2020	0,98	0,91	14,06	44
14	1901-2000	1954-2020	0,96	0,76	7,92	47
15	1901-2000	1959-2020	1,00	0,87	11,34	42
16	1901-2000	1932-2020	1,00	0,91	17,63	69
17	1901-2000	1930-2020	0,98	0,92	20,05	71
18	1901-2000	1930-2020	0,99	0,93	21,42	71
19	1901-2000	1930-2020	0,96	0,88	15,65	71
20	1901-2000	1931-2020	1,00	0,91	18,34	70

Bu itibarla Tablo 4.11 incelendiğinde, örnek veri ile alınan ölçümler arasında yıllar bazında eğilim uyumunun yüksek olduğu (0,79-1,00) görülmektedir. Benzer şekilde korelasyon değerleri (R) de 0,62-0,93 aralığında değişim göstermektedir. Tüm değerlere bakıldığında 6 verinin orta (-0,69 ile-0,50 aralığı ya da 0,50 ile 0,69 aralığı), 8 verinin yüksek (-0,89 ile-0,70 aralığı ya da 0,70 ile 0,89 aralığı), 6 verinin ise çok yüksek (-1,00 ile -0,90 aralığı ya da 0,90 ile 1,00 aralığı) seviyede korelasyonu işaret ettiği görülmektedir. Sonuç itibariyle verilerin %70'i yüksek ve çok yüksek düzeyde korelasyon göstermiştir.

COFECHA programından elde edilen sonuçlar, tüm segmentlerde programın %99 güven düzeyinde kritik korelasyon sınırı olarak belirlediği 0.3281 değerinin üzerinde korelasyonun varlığını doğrulamaktadır (Tablo 4.12).

Otoregresif modelleme ile filtrelenen ve filtrelenmemiş verilerin tanımlayıcı istatistikleri aşağıda ekran görüntüsü olarak verilen programın 7. Bölüm çıktısında görülmektedir. Farklı ağırlığa sahip olan eşit uzunluktaki seriler logaritmik dönüşüme tabi tutularak

dönüştürülen her bir seri daha sonra ana tarihlendirme serisi ile test edildiğinde otokorelasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.12: 50 yıl tarihli segmentlerin 25 yıl gecikmeli korelasyonları

Segment	Seriler	Zaman aralığı	1925-1974	1950-1999	1975-2024
1	An1	1930-2020	0.78	0.79	0.83
2	An2	1931-2020	0.78	0.81	0.67
3	An3	1926-2020	0.79	0.88	0.78
4	An4	1928-2020	0.80	0.85	0.69
5	An5	1927-2020	0.73	0.78	0.80
6	An6	1926-2020	0.79	0.82	0.75
7	An7	1929-2020	0.78	0.80	0.80
8	An8	1929-2020	0.77	0.77	0.82
9	An9	1930-2020	0.78	0.80	0.79
10	An10	1930-2020	0.79	0.82	0.84
11	An11	1961-2020		0.92	0.91
12	An12	1956-2020		0.92	0.89
13	An13	1957-2020		0.92	0.92
14	An14	1954-2020		0.84	0.89
15	An15	1959-2020		0.84	0.64
16	An16	1932-2020	0.87	0.91	0.92
17	An17	1930-2020	0.86	0.91	0.92
18	An18	1930-2020	0.84	0.91	0.94
19	An19	1930-2020	0.84	0.90	0.93
20	An20	1931-2020	0.85	0.92	0.93
Ortalama segment korelasyonu			0.80	0.86	0.83

PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS: T1											Sun	Page	6		
Seq	Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	//----- Mean msmt	Max msmt	Unfiltered Std dev	Auto corr	-----\\ Mean sens	//---- Max value	Filtered Std dev	-----\\ Auto corr	AR ()
1	An1	1930 2020	91	3	0	0.806	1.52	5.40	0.779	0.666	0.227	1.39	0.403	0.013	2
2	An2	1931 2020	90	3	0	0.717	1.94	5.62	1.131	0.669	0.264	1.57	0.450	0.016	1
3	An3	1926 2020	95	3	0	0.782	1.88	4.63	0.732	0.399	0.250	0.98	0.330	0.001	1
4	An4	1928 2020	93	3	0	0.724	1.77	3.83	0.634	0.395	0.246	1.09	0.322	-0.003	1
5	An5	1927 2020	94	3	0	0.759	1.53	5.87	1.152	0.214	0.357	3.02	0.686	0.002	1
6	An6	1926 2020	95	3	0	0.769	1.91	5.11	0.945	0.336	0.295	1.60	0.429	0.000	1
7	An7	1929 2020	92	3	0	0.784	1.96	5.10	0.812	0.669	0.197	0.97	0.332	0.013	2
8	An8	1929 2020	92	3	0	0.787	2.03	5.63	0.842	0.683	0.196	0.96	0.319	0.023	2
9	An9	1930 2020	91	3	0	0.780	1.57	4.11	0.739	0.666	0.228	1.28	0.368	0.017	2
10	An10	1930 2020	91	3	0	0.823	1.72	6.35	1.264	0.651	0.307	2.30	0.568	0.011	2
11	An11	1961 2020	60	2	0	0.909	1.25	2.22	0.278	0.353	0.150	1.05	0.217	-0.020	3
12	An12	1956 2020	65	2	0	0.891	1.53	2.68	0.444	0.380	0.198	1.17	0.272	-0.038	3
13	An13	1957 2020	64	2	0	0.906	1.47	2.52	0.386	0.391	0.179	1.11	0.243	-0.025	3
14	An14	1954 2020	67	2	0	0.847	1.65	2.82	0.538	0.444	0.232	0.95	0.268	0.012	1
15	An15	1959 2020	62	2	0	0.655	1.72	2.67	0.560	0.575	0.203	0.75	0.227	0.012	1
16	An16	1932 2020	89	3	0	0.896	1.84	4.59	0.924	0.264	0.347	2.25	0.507	-0.018	3
17	An17	1930 2020	91	3	0	0.890	1.75	4.70	0.756	0.249	0.289	2.27	0.462	-0.017	3
18	An18	1930 2020	91	3	0	0.894	1.66	3.49	0.577	0.335	0.250	1.52	0.337	-0.018	3
19	An19	1930 2020	91	3	0	0.881	1.53	3.90	0.613	0.182	0.257	2.16	0.454	-0.021	3
20	An20	1931 2020	90	3	0	0.892	1.94	4.28	0.825	0.258	0.320	1.74	0.421	-0.025	2
Total or mean:			1694	55	0	0.817	1.73	6.35	0.772	0.439	0.254	3.02	0.392	-0.003	--
- = [COFECHA HT1 COF] = -															

Şekil 4.26: COFECHA programından elde edilen tüm segment ve seriler için tanımlayıcı istatistikler.

Tablo 4.13. ARSTAN programındaki kronolojilerin özet istatistikleri

	Kronoloji tipi	Halka genişliği
Toplam kronoloji (1926-2020)	Ortalama	0.985
	Medyan	0.897
	Ortalama duyarlılık	0.220
	Standart sapma	0.288
	Skewness	0.361
	Kurtosis	0.981
	Otokorelasyon sırası 1	0.226
	Kısmi otokorelasyon sırası 2	-0.060
	Kısmi otokorelasyon sırası 3	-0.006
Ortak aralıklar (1933-2020)	Ortalama korelasyonlar	
	Tüm yarıçaplar arasında	0.677
	Ağaçlar arasında (Y varyans)	0.677
	Yarıçapa karşı ortalama	0.822
	Sinyal gürültü oranı	7.412
	Popülasyon kronolojisi ile açıklanan	0.969
	İlk özvektördeki varyans (%)	69.86
	Kronoloji ortak aralığının ortalaması	0.984
	Kronoloji ortak aralığının standart sapması	0.287

Göknar'ın ortalama duyarlılık değeri 0.220 olan 96 yıllık (1926'dan 2020'ye kadar) büyüme halka genişliklerinin kronolojisi oluşturulmuştur. Kronolojilerin ortak aralık analizi istatistikleri ağaçlar arasındaki ortalama korelasyonun ve sinyal gürültü oranının sırasıyla 0.677 ve 7.412 olduğunu göstermektedir (Tablo 4.13). Ayrıca kronolojilerin ilk özvektörlerinin açıkladığı varyans %69.86'dır.

Araştırma kapsamında yapılan yıllık halka analizlerden elde edilen detaylı bulgular ile iklim verilerinin kombine analizleri sonucunda, araştırma alanını oluşturan Ilgaz Dağı orman sınırındaki Uludağ göknarı bireylerinde yıllık halka gelişimi açısından ilkbahar ve yaz aylarında meydana gelen yağışların olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir. Ancak farklı zaman dilimlerinde özellikle ilkbahar sonu ve yaz sezonunda meydana gelen aşırı sıcaklıkların ve bunların neden olduğu kurak periyotların yıllık halka gelişimi ve dolayısıyla ağaçların büyüme performansına ve adaptasyon yeteneklerine (hayatta kalabilme mücadelelerine) olumsuz yönde tesirde bulunduğu görülmüştür (Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Nitekim bu kurak dönemlerde yüksek mıntikalarda yani alpin, subalpin, montan ve submontan zonlarda bulunan doğal orman ve ağaç sınırı oluşturan bireylerin, bulundukları ekolojik koşullarında genel olarak su ve besin maddesi yönünden optimal koşullar arz etmemesi nedeniyle söz konusu ilkbahar sonu ve yaz sıcaklıklarından çok daha

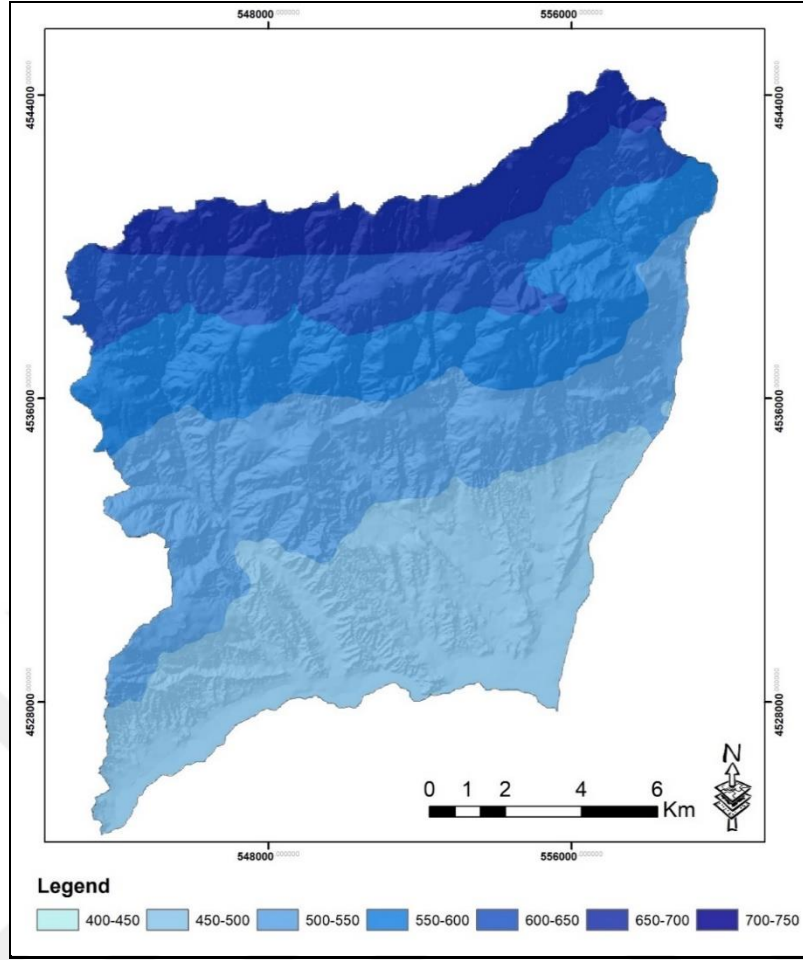
olumsuz etkilendikleri bu durumun araştırma süresince mevcut doğal orman ve ağaç sınırını değiştirmemekle birlikte bu doğal sınırların değişimine yönelik bireysel eğilimlerin ortaya çıkmasına neden olmaya başladıkları ve buna bağlı olarak hem kötürüm ağaç sınırının hem de savaş zonunun daha yukarı yükselti kademelerine doğru hareket edebilme ihtimalinin artmaya başladığı elde edilen aktüel bulgular çerçevesinde söylenebilir. Bu durumun doğal olarak araştırma alanını oluşturan Ilgaz Dağında mevcut saf göknar ormanlarının da doğal yayılış sınırlarını yakın gelecekte etkilemesi olasılığını önemli ölçüde artırmaktadır. Nitekim araştırma alanı ile benzer ekolojik koşullara sahip olan Kastamonu yöresi doğal Uludağ göknarında (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode & Cullen) yapılan bir araştırmada iklim ile yıllık halka genişliği arasındaki ilişki incelenmiş ve kullanılan tepki fonksiyonu yöntemi sonucunda Ocak ayındaki yüksek sıcaklıklar ile Şubat-Ağustos dönemindeki düşük yağışlar ve Mayıs-Haziran aylarındaki yüksek sıcaklıkların yıllık halka gelişimini sınırlandırdığı belirlenmiştir (Köse, 2012). Bu konuda Batı Akdeniz Bölgesinde *Pinus nigra* Arnold. ve *Abies cilicica* Carr. taksonlarında gerçekleştirilen bir başka dendrokronolojik araştırmada, Toros göknarına ait ortalama yıllık halka genişlikleri üzerinde ilkbahar ve yaz yağışlarının belirgin bir etkisinin olmadığı, ancak ilkbahar sıcaklıklarının olumlu yönde etkisinin olduğu ancak genel olarak yaz yağışlarının olumlu, yaz sıcaklıklarının da olumsuz yönde etkide bulunduğu tespit edilmiştir (Akkemik, 1997). Bu karşılaştırmalı bulgular ışığında Ilgaz Dağı doğal orman sınırındaki göknar bireylerinden alınan karotlarda yapılan yıllık halka ve iklim analizleri sonucunda ulaşılan sonuçlar ile Köse (2012) ve Akkemik (1997) tarafından yapılan araştırmalardan ortalama yıllık halka genişliğine etki eden faktörlerin önemli ölçüde birbiriyle uyum ve benzerlik gösterdiğini söylemek mümkündür. Diğer taraftan bir başka araştırmada, Avrupa'daki altı *Abies* türünün kuraklık reaksiyonunun varyasyonu ve kuraklığa eğilimi doğu Avusturya'da 10 adet *Abies alba* orijini ile tesis edilen göknar orijin denemisinde ağaç yıllık halka genişlemesi ve etkili çevresel faktörler incelenmiştir. Ayrıca, 1970 ve 2011 yılları arasındaki altı farklı kuraklık olayında türlerin ve orijinlerin kuraklık tepkisi, standartlaştırılmış yağış indeksi ile tanımlandığı şekliyle, dört kuraklık tepki ölçüsü ile belirlenmiştir. Türlerin ve orijinlerin kuraklık olaylarına ortalama tepkisi, kuraklığın mevsimsel oluşumundan büyük ölçüde etkilenmiştir. Büyüme mevsiminin başındaki kısa, güçlü bir kuraklık, büyüme mevsiminin sonunda %50'ye varan düşüşlere neden olurken, büyüme mevsiminin sonundaki kuraklıklar ise sezondaki yıllık halka genişliğini mevsim başındaki kuraklığa göre daha yüksek düzeyde etkilememiştir. Odun özellikleri ve

kuraklığa tepki ölçümleri, *A. alba* orijinlerinin yanı sıra *Abies* türleri arasında da önemli farklılıklar göstermiştir. *A. alba* orijinleri, halka genişliği ölçülerinin varyasyonunda önemli kısımları açıklarken, *Abies* türleri, ağaç yoğunluğu parametrelerindeki varyasyonda önemli kısımları açıklamıştır. Altı kuraklık olayı boyunca kuraklık tepkisinde tutarlı bir model, yalnızca Türkiye'ye ait *A. nordmanniana*'nın en yüksek direnci gösterdiği ve *A. cephalonica*'nın kuraklıktan sonra en iyi iyileşmeyi gösterdiği belirlenmiştir (George vd., 2015). Diğer taraftan Çin'in endemik türlerinden birisi olan Çin göknarında (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) yapılan bir araştırmada ağaç halkası analiz yöntemleri (dendrokronoloji), 32 yıllık bir süre boyunca (1981–2013) iklimin Çin göknar bireylerinin radyal büyümesi ve odun yoğunlukları üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, ağaç halkası genişliğinin öncelikle yaz sıcaklığına duyarlı olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra ılık kışın (Aralık ve Ocak) radyal büyüme üzerindeki olumlu etkisinin olduğu, yazın (Temmuz-Eylül) yüksek sıcaklıkların ağaç halka genişlikleri üzerinde olumsuz etkisinin bulunduğu belirlenmiştir (Wang vd., 2022). Orta Yunanistan, endemik göknar türleri *Abies cephalonica* ve *A. borisii-regis* üzerinde yapılan bir araştırmada, Orta Yunanistan'daki enlemesine bir eğim boyunca üç göknar popülasyonunun ağaç halkası modelleri ve iklim tepkileri incelenmiştir. Her üç popülasyon da dendrometrik, silvikültürel ve saha özellikleri bakımından homojen olup, ancak fenotipik olarak farklılıklar göstermektedir. Ağaç halkası genişlikleri alan kronolojilerinin analizi, değişkenliklerinin %59'unun ortak ağaç halkası modellerini yorumladığını, diğer bir %25'inin ise güneyden kuzeye doğru göründükleri için farklılıklarını yorumladığını ortaya çıkarmıştır. Ağaç halkası genişliklerindeki bu değişkenlik, bu bölgede güneyden kuzeye doğru yağış, sıcaklık ve kuraklık için gözlemlenen değişkenlik ile orantılıdır. Ağaç halkası ile iklim ilişkileri, göknar ağacı halkası genişliğini etkileyen ana iklimsel faktörün, pozitif olarak ilişkili olduğu geç ilkbahar ve yaz yağışları olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, ağaç halkası genişlikleri, büyüme mevsimi öncesi Ekim ve Nisan aylarındaki sıcaklıklardan olumlu etkilenmiştir. Ancak Haziran ayı kuraklığı, kuzeydeki ağaç halkası genişliklerini olumsuz yönde etkilerken, bahar mevsiminin başlangıcında, özellikle güneydeki alan için ise olumlu etkilemiştir. Tüm dendrokronolojik istatistikler, ağaç halkası modelleri ve iklim-büyüme ilişkileri, Orta Yunanistan'daki köknar popülasyonları için aynı yönde gözlemlenen iklimsel ve fenotipik (tür) varyasyonu takiben güneyden kuzeye bir eğilim göstermiştir (Papadopoulos, 2016). Birçok farklı ülkede ve farklı göknar türünden yapılan araştırmalardan elde edilen bilgiler ışığında yapılan bu karşılaştırmalar çerçevesinde araştırmanın yapıldığı Ilgaz Dağı doğal orman sınırında bulunan 20 adet

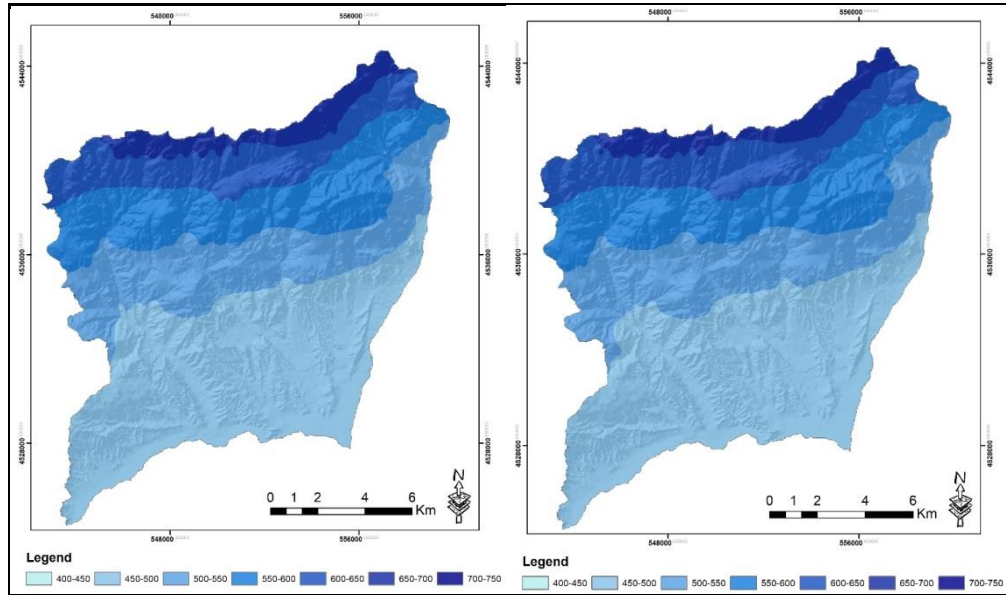
göknar bireyinden alınan karotlarda gerçekleştirilen yıllık halka ve iklim analizleri sonucunda ortalama yıllık halka genişlemesi üzerinde vejetasyon mevsimi başı olan erken ilkbaharda, ilkbahar sonunda ve özellikle yaz aylarında meydana gelen yüksek sıcaklık artışının ve değerlerinin neden olduğu kurak periyotların çok olumsuz etkileri olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu olumsuz etkiler hem bireysel büyüme performansını hem de meşcere kuruluş özelliklerini, başta stabilite ve vitalite olmak üzere meşcere dinamiklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Topaçoğlu vd., 2008). Diğer taraftan araştırma alanında olduğu gibi birçok farklı ekolojik koşullarda şekillenen saf ve karışık orman kuruluşlarının sahip olduğu doğal sınır değerleri de adaptasyon yeteneğindeki değişime bağlı olarak önemli düzeyde değişimin başladığının sinyallerini vermektedir.

4.4. Küresel Isınma Senaryolarına İlişkin Bulgular ve Tartışma

Küresel ısınma günümüzün en önemli ve sonuçları en tahrip edici çevre sorunu olarak tüm canlı yaşamı ve doğal kaynakları tehdit ettiği gibi orman kaynaklarını da olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluktan başta ağaçlar olmak üzere orman ekosistemini oluşturan tüm canlı unsurlar yavaş yavaş ancak belirgin olarak etkilenmektedir. Bu doğrultuda tüm makro ve mikro yaşam birlikteliklerinin unsuru olan canlılar kendi içlerinde ve popülasyonlar arası bir şekilde değişen çevre ve yaşam koşullarına yeni adaptasyonlar geliştirmeye çalışmakta ve hayatta kalma mücadelesi vermektedir. Bu doğrultuda araştırma alanı olan Ilgaz Orman İşletme Şefliğindeki 18632 ha büyüklüğündeki orman alanının ve bu orman alanı içinde bulunan 1425 ha'lık doğal orman içi boşlukların IPCC tarafından bildirilen ve küresel ısınmada eşik yıllar olarak gösterilen 2060 ve 2100 projeksiyonlarında nasıl bir değişime maruz kalacağına ilişkin tahminlerde ve öngörülerde bulunmak için WorldClim verilerinden senaryolarından yararlanılarak araştırma alanının 2060 ve 2100 yıllarına ilişkin SSPs 245 ve SSPs 585 sıcaklık ve yağış değişim senaryoları çalışılmış ve proje alanına ilişkin 2060 ve 2100 yıllarına ait yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama yağış senaryo haritaları hazırlanılarak ve bazı önemli yaklaşımlar sağlanmıştır. Araştırma alanına ait 2060 ve 2100 yıllarına ilişkin yağış değişim haritaları yardımıyla hazırlanarak Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'dasunulmuştur.



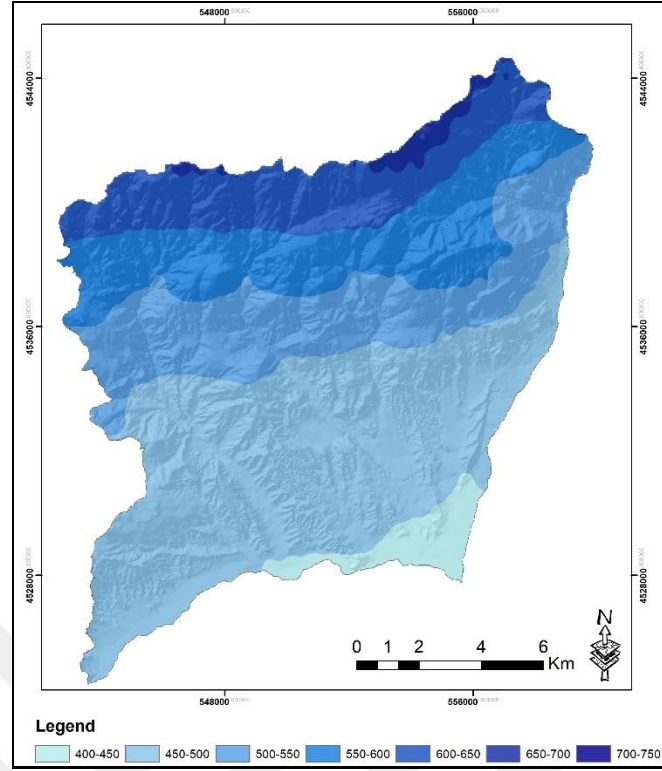
Şekil 4.27: Ilgaz Orman İşletme Şefliği Plan Ünitesine Ait Günümüz Yağış Haritası



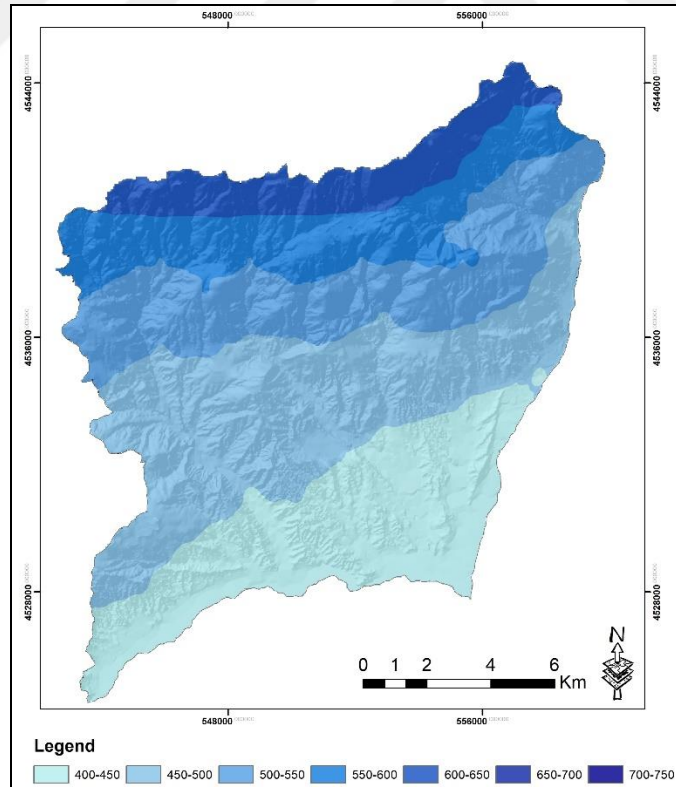
(a)

(b)

Şekil 4.28: SSPs 245 iklim senaryosuna göre plan ünitesinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki yağış durumu



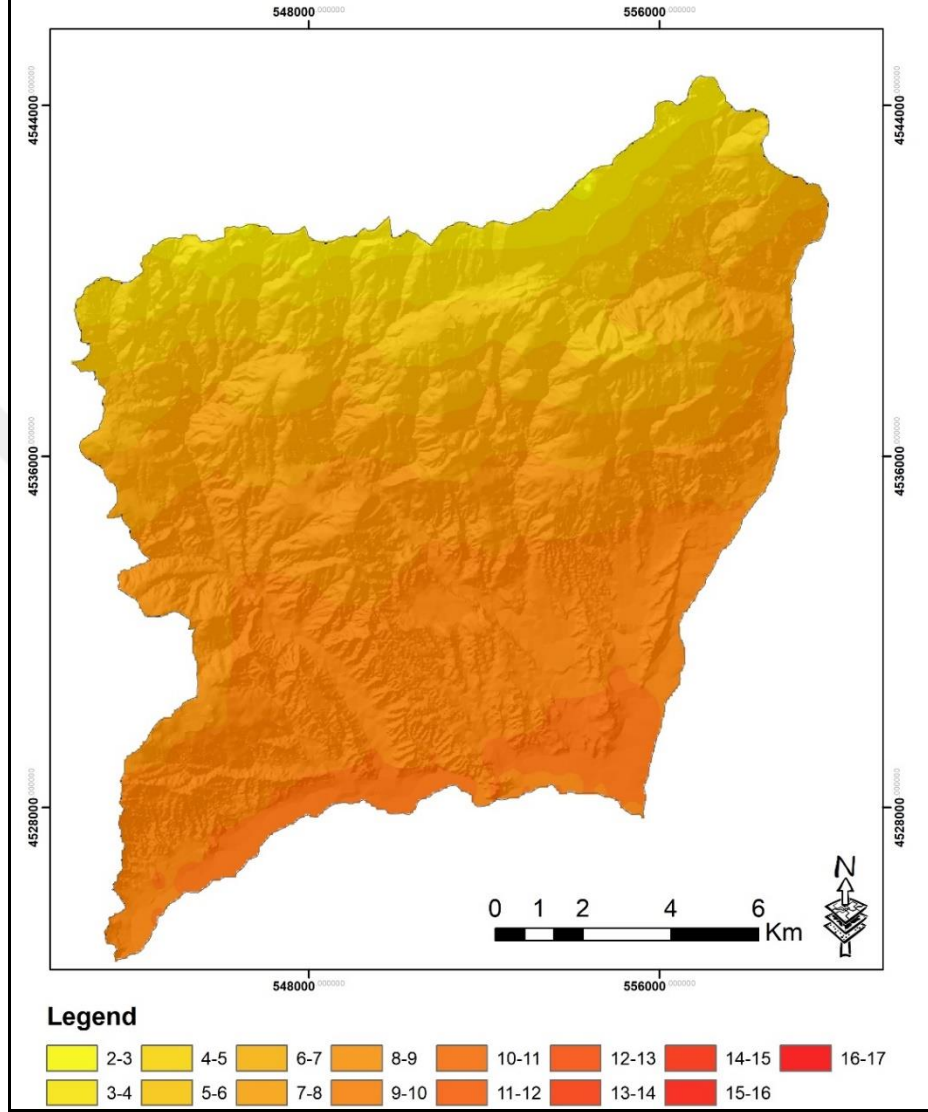
(a)



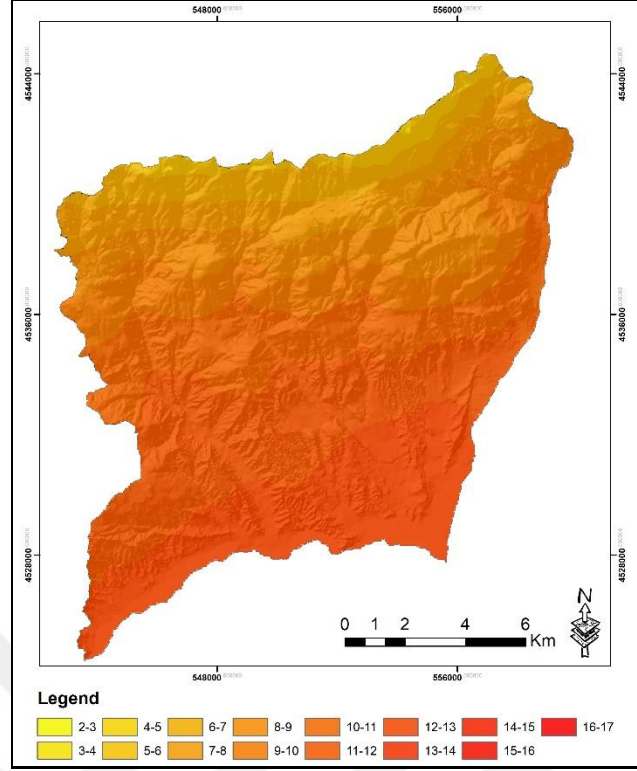
(b)

Şekil 4.29: SSPs 585 iklim senaryosuna göre plan ünitesinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki yağış durumu

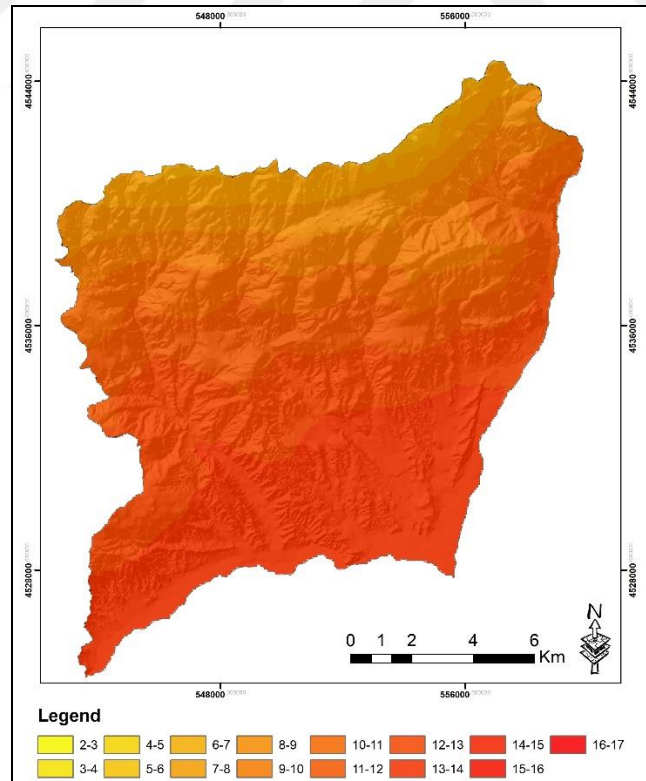
İlgaz Orman İşletme Şefliği plan ünitesine ait günümüzdeki ve kullanılan SSPs 245 ve SSPs 850 senaryolarına göre 2060 ve 2100 yılları için hazırlanan sıcaklık değişim haritaları Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.30: İlgaz Orman İşletme Şefliği Plan Ünitesine Ait Günümüz Sıcaklık Haritası

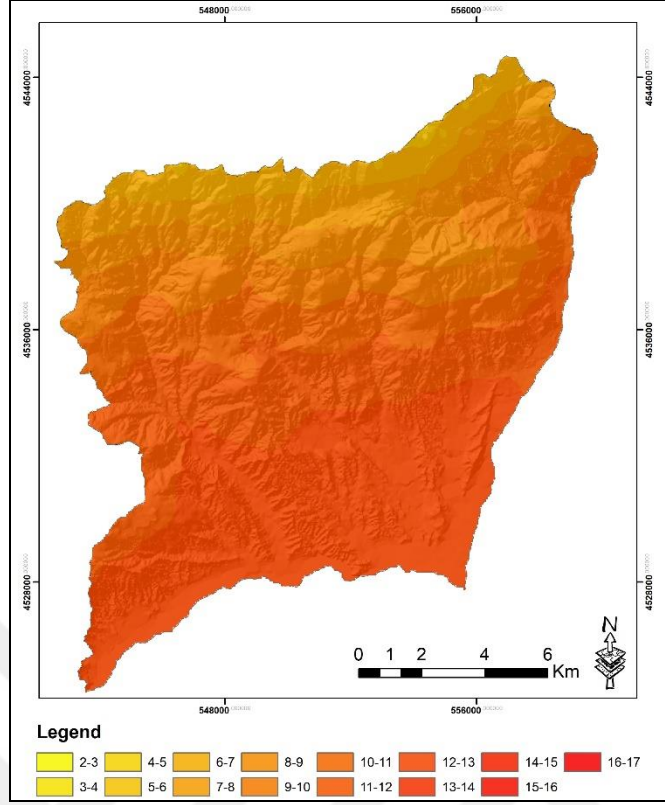


(a)

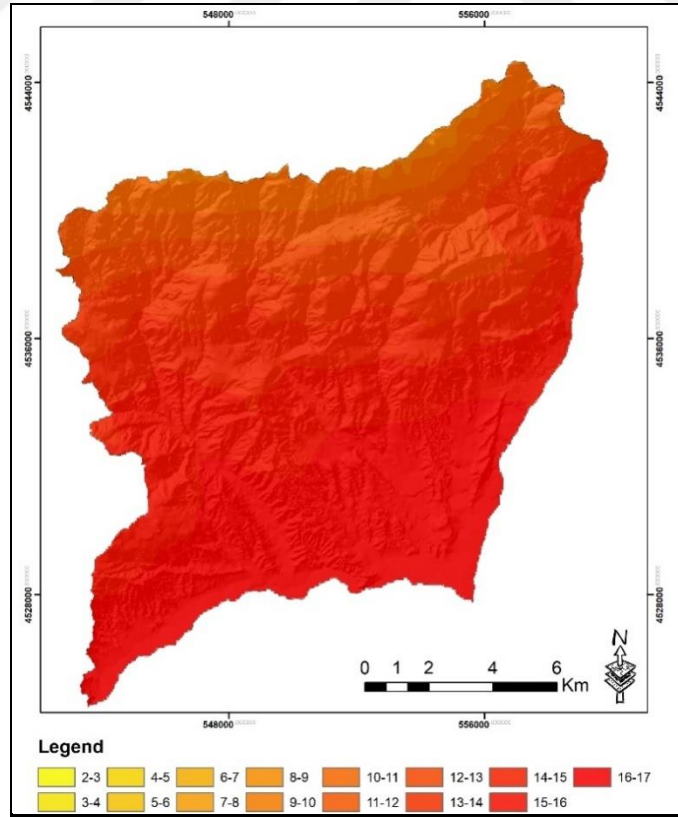


(b)

Şekil 4.31: SSPs 245 iklim senaryosuna göre plan ünitesinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki sıcaklık durumu



(a)



Şekil 4.32: SSPs 585 iklim senaryosuna göre Iğaz yöresinin 2060 (a) ve 2100 (b) yıllarındaki sıcaklık durumu

IPCC tarafından oluşturulan WorldClim SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre yapılan hesaplamalar ve tahminlere göre oluşturulan yağış grupları itibarıyla günümüz Ilgaz Orman İşletme Şefliği plan ünitesindeki ormanların alansal değişimi Tablo 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4.14: SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre plan ünitesi ormanların yağış grupları itibarıyla alansal dağılımındaki değişim

Yağış Grupları (mm)	Günümüzdeki Dağılım (Ha)	SSPs245 Senaryosuna Göre Dağılım (Ha)		SSPs585 Senaryosuna Göre Dağılım (Ha)	
		2060	2100	2060	2100
400-450				754,2	4738,8
450-500	5933,3	8270,4	8359,2	8605,3	9340,3
500-550	5280,6	4067,8	4189,3	4061,1	4125,2
550-600	4012,9	4040,5	4024,5	3604,2	990,4
600-650	2852,8	2518,9	2583,9	2713,4	862,5
650-700	1962,9	1159,2	1000,3	318,9	
700-750	14,4				

Tablo 4.14’deki bulgular incelendiğinde; SSPs245 iklim senaryosuna göre ortalama sıcaklık artışının 2,5°C artması halinde 2060 yılında 700-750 mm yağış grubunda yer alan 14,4 ha büyüklüğündeki orman alanı tamamen daha düşük yağış gruplarına yani yağış rejim alanlarına geçmiştir. Bununla birlikte yine 2060 yılında günümüz orman alanı dağılımlarına göre düşük yağış rejim gruplarından olan 450-500 mm grubunda 2337,1 ha ve aynı senaryoda 450-500 mm düşük yağış rejim grubunda 2100 yılında 2426 ha büyüklüğünde alansal artış meydana gelmiştir (Tablo 4.14). Yine SSPs585 iklim senaryosuna göre ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında günümüzde plan ünitesi ormanlarından hiç birin yer almadığı en düşük yağış rejim grubu olan 400-450 mm yağış rejim grubunda 754,2 ha ve 2100 yılında da 4738,8 ha büyüklüğünde orman alanının yer alacağı tahmin edilmiştir. Bununla birlikte aynı senaryoya göre günümüzde orman alanının özellikle silvikültürel istekleri açısından göknarın saf ve karışık orman kuruluşlarının yer aldığı 650-700 mm ve 700-750 mm yüksek yağış rejim gruplarında hiç orman alanının kalmayacağı oldukça dikkat çekici bir bulgu olarak ortaya çıkmıştır (Tablo 4.14). Yine SSPs585 iklim senaryosunda en düşük yağış gruplarından birisi olan 450-500 mm yağış grubunda günümüz koşullarına göre 2060 yılında 2672 ha ve 2100 yılında da 3407 ha büyüklüğünde orman alanı artışının yaşanacağı öngörülmüştür (Tablo 4.14). Yağış rejim grupları ile ilgili olarak iklim senaryolarına ilişkin olarak yapılan bu hesaplamalarda ve günümüz orman alanlarının dağılımı ile ilgili karşılaştırmalarda özellikle Uludağ

göknarının araştırma alanındaki doğal yayılış alanında yayılış alanının sınırları ve büyüklüğü açısından her iki iklim değişikliği senaryosuna göre önemli değişimlerin olacağı ve Uludağ göknarı için yörede ekolojik koşulların uygunluğu açısından önemli tehlikelerin ortaya çıkacağına ihtimali bu bulgular ışığında tahmin edilmiştir. Bu doğrultuda yine SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre oluşturulan sıcaklık grupları itibarıyla günümüzde plan ünitesindeki orman alanlarının alansal dağılımı ile 2060 ve 2100 yıllarında meydana gelmesi öngörülen değişimlerin karşılaştırmalı değişimi Tablo 4.15’de sunulmuştur.

Tablo 4.15: SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre plan ünitesi ormanların sıcaklık grupları itibarıyla alansal dağılımındaki değişim

Sıcaklık Grupları (°C)	Günümüzdeki Dağılım (Ha)	SSPs245 Senaryosuna Göre Dağılım (Ha)		SSPs585 Senaryosuna Göre Dağılım (Ha)	
		2060	2100	2060	2100
2-3	0,032				
3-4	0,964				
4-5	1466,0	12,0			
5-6	1907,0	595,4	1,9	88,9	
6-7	2614,0	1393,0	263,5	1179,8	
7-8	2654,0	1716,0	1329,9	1508,4	
8-9	3505,0	2538,7	1620,5	2014,9	1,9
9-10	6619,1	2567,1	2210,7	2683,6	242,9
10-11	1292,4	3167,8	2649,8	2641,6	1306,4
11-12		4389,3	2817,7	3722,9	1610,9
12-13		3676,7	3861,7	6216,4	2161,6
13-14			5300,6		2683,5
14-15					2795,6
15-16					3804,4
16-17					5449,7

Tablo 4.15’teki karşılaştırmalı bulgulara göre SSPs245 iklim değişikliği (küresel ısınma) senaryosu kapsamında ortalama sıcaklığın 2,5°C artması halinde 2060 yılında en düşük sıcaklık grupları olan 2-3°C ve 3-4°C sıcaklık gruplarında bulunan orman alanlarının tamamı alansal olarak küçük değerler göstermesine karşın bu grupları içinde yer almayacaktır. Yine 2060 yılında düşük sıcaklık gruplarından olan ve Uludağ göknarı ormanlarının özellikle orman ve ağaç sınırı oluşturduğu yüksek yükselti kademelerinde (alpin ve subalpin orman kuşakları) ortaya çıkan 4-5°C, 5-6°C, 6-7°C ve 7-8°C sıcaklık gruplarındaki rejonlarda bulunan orman alanlarında alansal olarak önemli değişimlerin olacağı tahmin edilmiştir. Yine aynı iklim senaryosunda 2100 yılında da aynı değişimlerin

meydana geleceği ve hatta 4-5°C, 5-6°C ve 6-7°C sıcaklık kuşaklarındaki ormanların tamamının veya önemli bir kesiminin bu sıcaklık rejimlerinde veya gruplarında görülemeyeceği öngörülmüştür (Tablo 4.15). Diğer taraftan SSPs585 iklim değişikliği senaryosuna göre ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında 2-3°C, 3-4°C ve 4-5°C gibi düşük sıcaklık gruplarında günümüzde var olan ve özellikle Uludağ göknarının da yayılış yaptığı yük zon kuşağında orman ve ağaç sınırını oluşturan ve savaş zonunda yer alan orman alanlarının büyük bir bölümünün 2060 ve 2100 yıllarında bu sıcaklık gruplarında muhtemel sıcaklık artışına bağlı olarak yer alamayacağı ve doğal yayılış sınırlarında olası önemli değişimlerin ortaya çıkacağı yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda tahmin edilmiştir. Diğer taraftan her iki iklim değişikliği senaryosunda da günümüz koşullarında doğal orman kaynaklarının hatta doğal orman içi boşlukların dahi bulunmadığı 11-12°C, 12-13°C, 13-14°C, 14-15°C, 15-16°C ve 16-17°C yüksek sıcaklık gruplarında hem 2060 hem de 2100 yıllarında orman alanlarının yer alacağı ve alansal olarak dağılım gösterebileceği yapılan tahminler ve değerlendirmeler sonucunda ortaya çıkmıştır (Tablo 4.15). Bu doğrultuda Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de yer alan küresel iklim değişikliğine ilişkin plan ünitesi ormanların alansal değişimlerinde yaşanması olası olan değişimlere ilişkin tahmini bulguların birbirini desteklediğini söylemek mümkündür. Ancak daha bir genel çerçeve çizilecek olursa her iki iklim senaryosuna göre DeMortanne ve Emberger indeksleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda iklim tipleri itibarıyla plan ünitesindeki orman alanlarının günümüz koşullarına göre tahmin edilen değişimine ilişkin veriler Tablo 4.16’da gösterilmiştir.

Tablo 4.16: SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre plan ünitesi ormanların genel iklim tiplerine göre alansal dağılımındaki değişim

İklim Tipleri	Günümüzdeki Dağılım (Ha)	SSPs245 Senaryosuna Göre Dağılım (Ha)		SSPs585 Senaryosuna Göre Dağılım (Ha)	
		2060	2100	2060	2100
Kurak					4841,6
Yarı kurak		6102,9	9652,7	8647,6	11189,7
Yarı nemli	10560,9	10105,8	8523,3	8848,7	4026,9
Nemli	9496,1	3848,9	1881,6	2560,8	

Tablo 4.16’ya göre günümüz ekolojik koşullarında araştırma alanını oluşturan Ilgaz Orman İşletme Şefliğine ait plan ünitesinde yer alan ormanların tamamı “Yarı Nemli” ve “Nemli”

iklim tiplerinin içinde bulunmakta olup, “Kurak” ve “Yarı Kurak” iklim tiplerinde orman alanı bulunmamaktadır. Ancak ilk iklim senaryosu SSPs245’e göre ortalama sıcaklığın 2,5°C artması halinde 2060 yılında araştırma alanındaki ormanlardan 6102,9 ha’ı ve 2100 yılında da 9652,7 ha’ı “Yarı Kurak” iklim tipine geçiş yapacağı gerçekleştirilen tahminler sonucunda belirlenmiştir. Yine aynı iklim senaryosuna göre hem 2060 yılında hem de 2100 yılında “Nemli” ve “Yarı Nemli” iklim tiplerindeki orman alanlarının önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür (Tablo 4.16). SSPs585 iklim değişikliği senaryosuna göre ise ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında “Nemli” ve “Yarı Nemli” iklim tipindeki orman alanlarında önemli bir azalmanın olacağı buna karşılık “Yarı Kurak” iklim tipindeki orman alanlarında ise alansal dağılımın oldukça yüksek oranlarda olacağı tahmin edilmektedir. Yine aynı iklim senaryosuna göre 2100 yılında araştırma alanında daha önce hiç varlığı söz konusu olmayan ve büyüklüğü 4841,6 ha olan orman alanının “Kurak” iklim tipine geçiş yapacağı ihtimali ortaya çıkmış olup, yine 2100 yılında aynı senaryoya göre “Nemli” iklim tipinde Uludağ göknarının da hakim olduğu orman kuşaklarının tamamının ortadan kalkacağı tahmin edilmiştir (Tablo 4.16). İklim tipleri itibarıyla Tablo 4.16’da ortaya çıkan bu tahmin sonuçları da Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de yağış ve sıcaklık verilerinde ortaya çıkan tahmin sonuçlarını ve hesaplamalarını destekler niteliktedir. Buna göre araştırma alanında bulunan ve araştırma materyalini oluşturan Uludağ göknarının doğal yayılış sınırlarının aralarında küresel ısınmanın da yer aldığı çok sayıda fakötörün etkisiyle önemli ölçüde değişeceği ve türün bu duruma bir reaksiyon olarak doğal yayılış sınırlarını muhtemel günümüzde bulunan doğal sınırların yer aldığı yükselti kademelerinden daha yüksek rejyonlara taşıma eğilimini gösterebileceği ve daha sonra da bu orman alanlarının daha uzun süreçlerde alansal olarak azalma ve yapısal olarak önemli bozunumlarla karşı karşıya kalabileceği uygulanan iklim senaryoları çerçevesinde yapılan hesaplamalar sonucunda tahmin edilmiştir. Nitekim, Türkiye’nin önemli ağaç türleri arasında yer alan ve küresel yayılışının önemli bir kısmı Türkiye’de bulunan göknarın iklim değişikliği nedeniyle potansiyel yayılış alanlarının rakımsal açıdan nasıl değişeceğini ortaya koymayı amaçlayan bir çalışmada, küresel iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle *Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana*’nın özellikle yüksek rakımlardaki optimal yayılış alanlarının önemli bir bölümünün azalacağı, *Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*’nin 1400 m’den daha yüksek rakımlardaki doğal yayılış alanlarının azalacağı, ancak genellikle 200 ila 600 m arasındaki rakımlarda yer alan yayılış alanlarının ise artacağı, ayrıca *Abies cilicica*’nın uygun yayılış alanının da daha yüksek rakımlara doğru kayacağı sonuçlarına ulaşılmıştır (Tekin vd., 2022). Ülkemizin diğer göknar türleri ile ilgili olarak

yapılan bu araştırmadan elde edilen veriler Uludağ göknarı ile ilgili olarak uygulanan iki farklı iklim değişikliği senaryosu sonucunda ulaşılan bulgular ile önemli ölçüde uyum göstermektedir. Buna göre Uludağ göknarının da doğal orman sınırının ve doğal ağaç sınırının ve savaş zonunun yakın gelecekte birçok faktörün (sıcaklık, yağış vb.) etkisiyle daha üst yükselti kuşaklarına doğru çekilme hareketine başlayabileceği düşünülmektedir. Ancak bu durumda diğer edafik ve fizyografik koşulların Uludağ göknarı için uygun şartlar gösterip göstermemesi de türün geleceği açısından önemli etkiler meydana getirebilecektir. Bu konuyla ilgili olarak Sarıyıldız vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, Uludağ göknarı toprak organik karbon ve toplam azot konsantrasyonunun ve stokunun yükseltiye bağlı olarak arttığı ve her bir yükselti kuşağının kuzey bakısında güney bakıya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, makro besin elementlerinden Ca, Mg ve P konsantrasyonları ve stoklarında yükseltiye bağlı olarak azalırken, kuzey ve güney bakılarda ise yükselti ile önce bir azalma daha sonra ise bir artış gösterme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Gorbunova vd. (2000) araştırmalarında; yükselti faktörünün huş türlerinin yapraklarındaki makro besin elementi içeriğinde önemli rol oynadığını vurgulamaktadırlar. Diğer taraftan Avrupa'daki işletilen ormanlarda bulunan 12 tür üzerinde gerçekleştirilen bir araştırmada da, 2.9°C ve 4.5°C'lik bir ısınma senaryosu altında, 2060'tan 2080'e kadar söz konusu zaman diliminde termofilik türler için sırasıyla 461km ve 697km'lik bir kuzeye kaymanın olacağı tespit edilmiştir. *Fagus sylvatica* ve *Picea abies*, potansiyel dağılım alanlarının büyük bir kısmını kaybedecek (sırasıyla yaklaşık %55 ve %60), *Ulmus laevis*, *Quercus rubra*, *Q. cerris* ve *Robinia pseudoacacia*'nın şu anda *F. sylvatica* ve *P. abies*'in hakim olduğu ılıman işletme ormanlarda ilginç alternatifler ortaya çıkaracağı açıklanmıştır (Thurm vd., 2018). Yine asli orman ağacı türlerimizden birisi olan ve çoğu uygun ekolojik koşullarda orta ve yüksek zonlardaki geçiş orman yapılarında Uludağ göknarına eşlik ederek değerli karışık ormanların kurulmasına hizmet eden Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.)'de aynı iklim değişikliği senaryoları uygulanarak yapılan diğer bir araştırmada da uygulanan iklim değişikliği senaryolarına göre gelecekteki daha sıcak koşulların ortaya çıkması ile, Kuzey Anadolu Dağları'nın güney yamaçlarındaki popülasyonların azalmasının beklendiğini ve Istranca Dağları ile Kuzey Anadolu'daki ana dağılım alanında, özellikle de Kuzey Anadolu'da ve Orta Anadolu'nun geçiş bölgesindeki popülasyonlarda azalma olacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca, doğu kayınının, Türkiye'nin güneydoğusundaki izole-marjinal popülasyonlarının tamamı kaybolacaktır (Ayan vd., 2022). Avrupa ve ülkemiz ormanlarında doğal olarak yayılış yapan türler ile ilgili olarak iklim değişikliği

senaryolarına ilişkin yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular da doktora tezi olarak Uludağ göknarında hazırlanan bu çalışmadan elde edilen bulgular ile önemli ölçüde örtüşmektedir.

4.5. Mekanik Öğrenme Algoritmalarına İlişkin Bulgular ve Tartışma

İlgaz Orman İşletme Şefliği doğal orman sınırında bulunan saf Uludağ göknarı ormanlarında doktora tezi olarak hazırlanan bu araştırmada yetiştirme ortamı koşulları ve deneme alanlarında bulunan göknar bireyleri ile gençliklerinde yapılan kantitatif karakterlerde yapılan ölçümlerden elde edilen bulgular ve WorldClim senaryolarının uygulanması ile ulaşılan sonuçlar kullanılarak küresel iklim değişikliğine bağlı değişimlerin ve bu değişimlere neden olan en önemli faktörlerin belirlenmesinde günümüzde istatistikte ve çok boyutlu karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan kNN (K-Nearest Neighbors), LVQ (Learning Vector Quantization), SVM (Support Vector Machine), RPART (Decision Trees) ve RF (Random Forest) mekanik öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Bu amaçla uygulanan mekanik öğrenme algoritmaları itibarıyla yıllara göre elde edilen tahmin doğruluk derecelerine (Doğruluk $= (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)$) ilişkin sonuçlar Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17: Mekanik öğrenme algoritmalarıyla yapılan tahminlerin doğruluk düzeyleri

Yıllar	Mekanik Öğrenme Algoritmalarının Doğruluk Düzeyleri (%)				
	kNN	LVQ	SVM	RPART	RF
2019	71,45	63,51	58,67	51,72	76,62
2020	73,52	64,78	59,94	54,88	77,93
2021	74,28	67,23	62,83	55,39	79,76

Tablo 4.16’deki sonuçlara göre; 2019, 2020 ve 2021 yılları için araştırma alanındaki doğal orman sınırında bulunan ve doğal ağaç sınırında yer alan göknar meşcereleri ile göknar gençlik kolektiflerindeki göknar gençliklerine ilişkin kantitatif karakter ile yetiştirme ortamı koşulları ve uygulanan iklim değişikliği senaryolarından elde edilen veriler kullanılarak uygulanan mekanik öğrenme algoritmaları sonucunda bu algoritmalar içinde iklim değişikliğinin göknar ormanları ve göknar gençliği üzerindeki etkilerini en iyi tahmin eden algoritma her üç yıl içinde sırasıyla %76,62, %77,93 ve %79,76’lık doğruluk düzeyleri ve dereceleri ile “Random Forest (RF)” algoritması olmuştur. Bu algoritmayı sırasıyla kNN,

LVQ, SVM ve RPART mekanik öğrenme algoritmaları izlemiştir. Mekanik öğrenme algoritmalarının iklim değişikliğinin etkilerinin ortaya konulmasıyla ilgili özellikle doğal kaynaklar ve ormanlar üzerinde ülkemizde yapılmış araştırmaların çok fazla sayıda olduğunu söylemek güçtür. Bu nedenle bu bölümde yapılan tartışma ve irdellemelerde kullanılan kaynaklar daha çok Avrupa’da ve diğer dünya ülkelerinde gerçekleştirilen araştırma sonuçlarına ve bulgularına dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Nitekim bu konuda Macaristan’da gerçekleştirilen bir araştırmada 2021-2050 ve 2071-2100 dönemleri için iklim değişikliğinin üzüm bağları üzerindeki etkilerinin incelendiği bir araştırmada CORİN verileri ile yapılan iklim değişikliğine ilişkin tüm sınıflandırmaların ve bu sınıflandırmalarda kullanılan değişkenlerin tahmininde Random Forest algoritmasının başarıyla kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır (Gaal vd., 2012).Yine iklim değişikliğinin atmosferdeki çeşitli gazların bulunma seviyesine olan etkilerinin incelendiği bir başka araştırmada da iklim değişikliği senaryoları ile elde edilen verilere uygulanan RF, kNN, LVQ ve SVM algoritmaları içinde en yüksek doğruluk düzeyine RF algoritmasının sahip olduğu ve iklim değişikliğinin etkileri konusunda da en önemli faktörün en yüksek faktör yüküne sahip olan hava sıcaklığı ve nemi olduğu belirlenmiştir (Zheng, 2018). İklim değişikliği süreçleri kapsamında makine öğrenme algoritmaları ile yağışın tahmin edildiği bir diğer araştırmada da rassal orman regresyon algoritmasının yağışların tahmin edilmesinde diğer algoritmalarından daha iyi çalıştığı tespit edilmiştir (Ülker, 2022). Pakistan’da gerçekleştirilen bir başka araştırmada, farklı iklim değişikliği senaryoları kullanılarak ormanlardaki büyüme ve verimlilik tahmin edilmeye çalışılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, genel olarak, RF modeli, orman verimini tahmin etmedeki daha yüksek doğruluğu nedeniyle kNN modelinden daha iyi performans göstermiştir. Çalışma, Pakistan'daki orman verimliliğinin yönetimine ve gelecekteki planlamasına yardımcı olabilecek orman büyümesi ve veriminin tahmini için ülkenin diğer bölgelerinde RF modelinin uygulanmasını önerilmiştir (Yousafzai vd., 2021). Bu karşılaştırmalar çerçevesinde iklim değişikliği senaryolarının doğal kaynaklar üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde ve modellenmesinde RF regresyon modelinin bu doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen araştırmada olduğu gibi başarıyla kullanılabildiği ve etkili olan en önemli ve yüksek faktör yüküne sahip değişkenlerin ortaya çıkarılmasında çok önemli sonuçları ortaya koyduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlgaz Orman İşletme Şefliğinin doğal orman ve ağaç sınırında bulunan saf ve doğal Uludağ göknarı ormanlarında (Gcd₃) doktora tezi olarak gerçekleştirilen bu araştırmada, küresel iklim değişikliğinin göknar ormanlarının gelişiminde, dinamiklerinde ve doğal sınırları üzerindeki etkileri bir ön değerlendirme niteliğinde uygulamacılara ve gelecekte yapılacak akademik çalışmalara konuyla ilgili bir takım temel ve uygulamalı bilgiler sunmak amaçlanmıştır. Buna göre;

Araştırma alanındaki doğal orman sınırındaki meşcerelerden alınan örnek alanlarda (1 da'lık) ortalama yaşı 67-97 arasında değişen saf göknar meşcerelerinde ortalama göğüs yüksekliği çapının 25,4-40,3cm arasında, ortalama boyun 13,8-22,6m arasında ve ortalama ağaç sayısının da 45,3-53,6 adet arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 4.1). Ayrıca, yine Tablo 4.1'de yer alan bilgilere göre örnek alanların alındığı, ölçüm ve tespitlerin yapıldığı 10 meşcereden 5 adetinin seçme, 5 adetinin de tek tabakalı kuruluşa dönüşen saf göknar ormanı niteliğinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Çalışmada uygulanan tek yönlü varyan analizi sonucunda yıllar itibarıyla ağaç sınırındaki göknar kolektiflerinin çapında $P<0,001$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılığın olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 4.2). Bu kapsamda $P<0,05$ güven düzeyinde gerçekleştirilen ve Tablo 4.3'te belirtilen Duncan testi sonucuna göre, doğal göknar gençlik kolektiflerinin ortalama çapları 2019 yılında 1,328m, 2020 yılında 1,407m ve 2021 yılında 1,492m olarak ölçülmüştür. Uygulanan Duncan testi sonucunda 2021 yılında ölçülen ortalama kolektif çap değeri tek başına birinci grubu, 2020 yılında ölçülen kolektif çap değeri tek başına ikinci grubu ve 2019 yılında ölçülen ortalama kolektif çap değeri de üçüncü grubu oluşturmuştur. Buna göre 2019 yılından itibaren 2021 yılına kadar geçen süreçte kolektiflerin çap değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Araştırmada doğal gençlik kolektifleri ile ilgili yıllar itibarıyla ölçülmek suretiyle incelenen diğer bir önemli karakterde gençlik kolektiflerinin boylarıdır. 2019, 2020 ve 2021 yıllarında ölçülen göknar gençliklerinin ortalama boy değerlerine uygulanan varyans analizi sonucunda istatistiki açıdan anlamlı farklılık ortaya çıkmamıştır (Tablo 4.4). Buna göre 2019 yılında ortalama kolektif boyu 1,51 m, 2020 yılında 1,53 m ve 2021 yılında da 1,55 m olarak belirlenmiştir.

Araştırmada doğal göknar gençlik kolektiflerinin doğal ağaç sınırına olan uzaklıkları da yıllar itibarıyla ölçülmüş ve elde edilen ortalama veriler üzerinde varyans analizi ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.5). Tablo 4.5'teki bulgulara göre 2019, 2020 ve 2021 yıllarında doğal göknar gençlik kolektiflerinin alanda belirlenen doğal ağaç sınırına olan uzaklıklarının ölçülmesiyle elde edilen ortalama değerler arasında tek yönlü varyans analizinin sonucuna göre $P < 0,001$ güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda yıllar arasında homojen grupları belirlemek için %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen Duncan Testi sonucunda 2 adet homojen grupta yıllar gruplandırılmıştır (Tablo 4.6). Tablo 4.6'da yer alan Duncan testi sonuçlarına göre doğal göknar gençlik kolektiflerinin doğal ağaç sınırı olan uzaklıklarına ilişkin 2020 yılında ölçülen 1,901 m ile 2019 yılında ölçülen 1,913 m uzaklık değerleri ilk grubu oluştururken, 2021 yılında ölçülen ortalama uzaklık değeri olan 1,846 m uzaklık değeri tek başına ikinci grupta yer almıştır. Buna göre araştırma alanındaki doğal göknar gençlik kolektifleri bireysel olarak ağaç sınırının üzerinde yıllara göre belirli bir uzaklık oluşturmalarına karşın araştırma süresince alanda belirlenen doğal ağaç sınırının (1982 m) değişmediği saptanmıştır (Şekil 4.3).

Bu araştırmada, doğal göknar gençlik kolektiflerinde gençliklere ait ortalama boy, ortalama kök boğaz çapı ve metrekaresindeki gençlik sayısı gibi kantitatif karakterler de yıllar itibarıyla (2019-2021) belirlenmiştir. Ancak, kolektiflerdeki gençliklerin yaşları farklılık göstermesi nedeniyle sadece yıllar itibarıyla kolektiflerde belirlenen metrekaresindeki gençlik sayısına ait ortalama değerlere varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır.

Doğal ağaç sınırı hattında yer alan göknar gençlik kolektiflerinde bulunan farklı yaşlardaki genç göknar bireylerinin ortalama boy değerleri Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Araştırma alanında doğal ağaç sınır hattında bulunan değişik yaşlı özelliğe sahip gençlik kolektiflerindeki göknar gençliklerinin ortalama boyu 2019 yılında 5,3cm, 2020 yılında 6,4cm ve 2021 yılında da 7,2 cm olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.7).

Araştırma kapsamında doğal gençlik kolektiflerini oluşturan farklı yaştaki doğal göknar gençliklerinin kök boğaz çapı gelişimleri de yıllar itibarıyla (2019-2021) incelenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 4.8'de verilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında farklı yaşlardaki göknar gençliklerinde ortalama kök boğaz çapı 2019 yılında 15,6 mm, 2020 yılında 18,9 mm ve 2021 yılında 22,4 mm olarak saptanmıştır (Tablo 4.8). Ortalama boy

büyümesi değerlerinde olduğu gibi ekstrem ekolojik koşulların hakim olduğu araştırma alanındaki değişikyaşlı göknar bireylerinde ortalama kök boğaz çapı gelişimi de daha düşük yükselti kademelerindeki optimal yayılış alanlarına göre çok daha düşük gerçekleşmiş ve çok daha yavaş bir büyüme seyri ortaya çıkmıştır.

Araştırmada yıllar itibarıyla gençlik kollektiflerinde bulunan doğal ve farklı yaşlardaki göknar bireylerine ilişkin belirlenen diğer bir önemli parametre de metrekaresindeki gençlik sayısıdır. Bu parametre türün adaptasyonu için önemli olduğu kadar orman kaynaklarının başta küresel ısınma olmak üzere çeşitli biyotik ve abiyotik faktörler nedeniyle doğal sınırlarındaki değişiminin belirlenmesi ve ortaya konulması için de önemlidir. Bu kapsamda yıllar itibarıyla metrekaresinde belirlenen doğal göknar gençliklerinin sayısına uygulanan varyans analizi sonuçları Tablo 4.9’da sunulmuştur. Tablo 4.10’daki sonuçlara göre ortalama metrekaresindeki doğal göknar gençlik sayısı 2019 yılında 15,73 adet olup bu değer ile 2019 yılı ilk homojen grupta yer almıştır. Bu grubu 12,46 adet ile 2020 yılı ikinci grupta yer alarak takip etmiştir. 2021 yılı ise 9,38 adet ortalama metrekaresindeki doğal gençlik sayısı ile son homojen grubu tek başına oluşturmuştur. Duncan testi sonucunda ortaya çıkan homojen gruplardan da anlaşılacağı üzere 3 yıllık süreçten metrekaresindeki ortalama doğal gençlik sayısında belirgin bir azalış ortaya çıkmıştır. Bu durumun görülmesinde ve gözlemlenmesinde küresel ısınmanın etkileri olmakla birlikte çok sayıda biyotik ve abiyotik faktörün kombine ve kompleks etkileri de söz konusudur. Bu etkileri doğal gençliklerin sayısı ve gelişim performansı üzerinde birbirinden belirgin olmak oldukça güçtür. Bu nedenle gençlik sayısındaki azalmanın hangi faktörün etkisine bağlı olarak meydana geldiği kesin olarak araştırma süresince belirlenememiş sadece aktüel durum ortaya konularak uygulamacılar açısından araştırma alanındaki göknar ormanlarının yönetim stratejileri belirlenirken yararlı olunabilecek yaklaşımların sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında yıllık halka analizinde alınan karotlarda yapılan ölçüm ve sayım sonuçları ilk olarak Tricycle programı ile uzantısı .rwl dosyası haline dönüştürülen excel dosyaları (her bir örnek için) Corina programı ile Ccrossdate’e tabi tutulmuştur. Kastamonu yöresine ait daha önce doğruluğu test edilmiş olan 1901-2000 yıllarına ait Göknar verileri ile yapılan karşılaştırmada örneklerin örtüşme süresinin ağaçların yaşlarına bağlı olarak 40 ile 75 yıl arasında değiştiği görülmektedir. Bu doğrultuda her bir karot

örneğine ait Crossdate değerleri ve grafiği ile T Skoru değerleri aşağıda belirtilen program çıktısını içeren grafikler Şekil 4.6-4.25 arasında ayrı ayrı gösterilmiştir.

Yirmi örneğe ait örtüşme değerleri Tablo 4.11’de verilmiştir. Tablo 4.11 incelendiğinde, örnek veri ile alınan ölçümler arasında yıllar bazında eğilim uyumunun yüksek olduğu (0,79-1,00) görülmektedir. Benzer şekilde korelasyon değerleri (R) de 0,62-0,93 aralığında değişim göstermektedir. Tüm değerlere bakıldığında 6 verinin orta (-0,69 ile-0,50 aralığı ya da 0,50 ile 0,69 aralığı), 8 verinin yüksek (-0,89 ile-0,70 aralığı ya da 0,70 ile 0,89 aralığı), 6 verinin ise çok yüksek (-1,00 ile -0,90 aralığı ya da 0,90 ile 1,00 aralığı) seviyede korelasyonu işaret ettiği görülmektedir. Sonuç itibariyle verilerin %70’i yüksek ve çok yüksek düzeyde korelasyon göstermiştir. COFECHA programından elde edilen sonuçlar, tüm segmentlerde programın %99 güven düzeyinde kritik korelasyon sınırı olarak belirlediği 0.3281 değerinin üzerinde korelasyonun varlığını doğrulamaktadır (Tablo 4.12). Göknarın ortalama duyarlılık değeri 0.220 olan 96 yıllık (1926’dan 2020’ye kadar) büyüme halka genişliklerinin kronolojisi oluşturulmuştur. Kronolojilerin ortak aralık analizi istatistikleri ağaçlar arasındaki ortalama korelasyonun ve sinyal gürültü oranının sırasıyla 0.677 ve 7.412 olduğunu göstermektedir (Tablo 4.13). Ayrıca, kronolojilerin ilk özvektörlerinin açıkladığı varyans %69.86’dır. Araştırma kapsamında yapılan yıllık halka analizlerden elde edilen detaylı bulgular ile iklim verilerinin kombine analizleri sonucunda, araştırma alanını oluşturan Ilgaz Dağı orman sınırındaki Uludağ göknarı bireylerinde yıllık halka gelişimi açısından ilkbahar ve yaz aylarında meydana gelen yağışların olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir. Ancak farklı zaman dilimlerinde özellikle ilkbahar sonu ve yaz sezonunda meydana gelen aşırı sıcaklıkların ve bunların neden olduğu kurak periyotların yıllık halka gelişimi ve dolayısıyla ağaçların büyüme performansına ve adaptasyon yeteneklerine (hayatta kalabilme mücadelelerine) olumsuz yönde tesirde bulunduğu da görülmüştür(Tablo 4.12 ve Tablo 4.13).

Araştırma alanı olan Ilgaz Orman İşletme Şefliğindeki 18632 ha büyüklüğündeki orman alanının ve bu orman alanı içinde bulunan 1425 ha’lık doğal orman içi boşlukların IPCC tarafından bildirilen ve küresel ısınmada eşik yıllar olarak gösterilen 2060 ve 2100 projeksiyonlarında nasıl bir değişime maruz kalacağına ilişkin tahminlerde ve öngörülerde bulunmak için WorldClim verilerinden senaryolarından yararlanılarak araştırma alanının 2060 ve 2100 yıllarına ilişkin SSPs 245 ve SSPs 585 sıcaklık ve yağış değişim senaryoları çalışılmış ve proje alanına ilişkin 2060 ve 2100 yıllarına ait yıllık ortalama sıcaklık ve

yıllık ortalama yağış senaryo haritaları hazırlanılarak ve bazı önemli yaklaşımlar sağlanmıştır. Araştırma alanına ait 2060 ve 2100 yıllarına ilişkin yağış değişim haritaları yardımıyla hazırlanarak Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da sunulmuştur. Ilgaz Orman İşletme Şefliği plan ünitesine ait günümüzdeki ve kullanılan SSPs 245 ve SSPs 850 senaryolarına göre 2060 ve 2100 yılları için hazırlanan sıcaklık değişim haritaları Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir.

IPCC tarafından oluşturulan WorldClim SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre yapılan hesaplamalar ve tahminlere göre oluşturulan yağış grupları itibarıyla günümüz Ilgaz Orman İşletme Şefliği plan ünitesindeki ormanların alansal değişimi Tablo 4.14’de verilmiştir. Tablo 4.14’deki bulgular incelendiğinde SSPs245 iklim senaryosuna göre ortalama sıcaklık artışının 2,5°C artması halinde 2060 yılında 700-750 mm yağış grubunda yer alan 14,4 ha büyüklüğündeki orman alanı tamamen daha düşük yağış gruplarına yani yağış rejim alanlarına geçmiştir. Bununla birlikte yine 2060 yılında günümüz orman alanı dağılımlarına göre düşük yağış rejim gruplarından olan 450-500 mm grubunda 2337,1 ha ve aynı senaryoda 450-500 mm düşük yağış rejim grubunda 2100 yılında 2426 ha büyüklüğünde alansal artış meydana gelmiştir (Tablo 4.14). Yine SSPs585 iklim senaryosuna göre ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında günümüzde plan ünitesi ormanlarından hiç birin yer almadığı en düşük yağış rejim grubu olan 400-450 mm yağış rejim grubunda 754,2 ha ve 2100 yılında da 4738,8 ha büyüklüğünde orman alanının yer alacağı tahmin edilmiştir. Bununla birlikte aynı senaryoya göre günümüzde orman alanının özellikle silvikültürel istekleri açısından göknarın saf ve karışık orman kuruluşlarının yer aldığı 650-700 mm ve 700-750 mm yüksek yağış rejim gruplarında hiç orman alanının kalmayacağı oldukça dikkat çekici bir bulgu olarak ortaya çıkmıştır (Tablo 4.14). Yine SSPs585 iklim senaryosunda en düşük yağış gruplarından birisi olan 450-500 mm yağış grubunda günümüz koşullarına göre 2060 yılında 2672 ha ve 2100 yılında da 3407 ha büyüklüğünde orman alanı artışının yaşanacağı öngörülmüştür (Tablo 4.14). Yağış rejim grupları ile ilgili olarak iklim senaryolarına ilişkin olarak yapılan bu hesaplamalarda ve günümüz orman alanlarının dağılımı ile ilgili karşılaştırmalarda özellikle Uludağ göknarının araştırma alanındaki doğal yayılış alanında yayılış alanının sınırları ve büyüklüğü açısından her iki iklim değişikliği senaryosuna göre önemli değişimlerin olacağı ve Uludağ göknarı için yörede ekolojik koşulların uygunluğu açısından önemli tehlikelerin ortaya çıkacağının ihtimali bu bulgular ışığında tahmin edilmiştir. Bununla birlikte aynı senaryoya göre günümüzde orman alanının özellikle silvikültürel istekleri açısından

göknarın saf ve karışık orman kuruluşlarının yer aldığı 650-700 mm ve 700-750 mm yüksek yağış rejim gruplarında hiç orman alanının kalmayacağı oldukça dikkat çekici bir bulgu olarak ortaya çıkmıştır (Tablo 4.14). Yine SSPs585 iklim senaryosunda en düşük yağış gruplarından birisi olan 450-500 mm yağış grubunda günümüz koşullarına göre 2060 yılında 2672 ha ve 2100 yılında da 3407 ha büyüklüğünde orman alanı artışının yaşanacağı öngörülmüştür (Tablo 4.14).

Bu doğrultuda yine SSPs245 ve SSPs585 iklim senaryolarına göre oluşturulan sıcaklık grupları itibarıyla günümüzde plan ünitesindeki orman alanlarının alansal dağılımı ile 2060 ve 2100 yıllarında meydana gelmesi öngörülen değişimlerin karşılaştırmalı değişimi Tablo 4.15'te sunulmuştur. Tablo 4.15'teki karşılaştırmalı bulgulara göre SSPs245 iklim değişikliği (küresel ısınma) senaryosu kapsamında ortalama sıcaklığın 2,5°C artması halinde 2060 yılında en düşük sıcaklık grupları olan 2-3°C ve 3-4°C sıcaklık gruplarında bulunan orman alanlarının tamamı alansal olarak küçük değerler göstermesine karşın bu grupları içinde yer almayacaktır. Yine 2060 yılında düşük sıcaklık gruplarından olan ve Uludağ göknarı ormanlarının özellikle orman ve ağaç sınırı oluşturduğu yüksek yükselti kademelerinde (alpin ve subalpin orman kuşakları) ortaya çıkan 4-5°C, 5-6°C, 6-7°C ve 7-8°C sıcaklık gruplarındaki rejyonlarda bulunan orman alanlarında alansal olarak önemli değişimlerin olacağı tahmin edilmiştir. Yine aynı iklim senaryosunda 2100 yılında da aynı değişimlerin meydana geleceği ve hatta 4-5°C, 5-6°C ve 6-7°C sıcaklık kuşaklarındaki ormanların tamamının veya önemli bir kesiminin bu sıcaklık rejimlerinde veya gruplarında görülemeyeceği öngörülmüştür (Tablo 4.15). Diğer taraftan SSPs585 iklim değişikliği senaryosuna göre ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında 2-3°C, 3-4°C ve 4-5°C gibi düşük sıcaklık gruplarında günümüzde var olan ve özellikle Uludağ göknarının da yayılış yaptığı kuşakta orman ve ağaç sınırını oluşturan va savaş zonunda yer alan orman alanlarının büyük bir bölümünün 2060 ve 2100 yıllarında bu sıcaklık gruplarında muhtemel sıcaklık artışına bağlı olarak yer alamayacağı ve doğal yayılış sınırlarında olası önemli değişimlerin ortaya çıkacağı yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda tahmin edilmiştir. Diğer taraftan her iki iklim değişikliği senaryosunda da günümüz koşullarında doğal orman kaynaklarının hatta doğal orman içi boşlukların dahi bulunmadığı 11-12°C, 12-13°C, 13-14°C, 14-15°C, 15-16°C ve 16-17°C yüksek sıcaklık gruplarında hem 2060 hem de 2100 yıllarında orman alanlarının yer alacağı ve alansal olarak dağılım gösterebileceği yapılan tahminler ve değerlendirmeler sonucunda ortaya çıkmıştır (Tablo 4.15).

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de yer alan küresel iklim değişikliğine ilişkin plan ünitesi ormanların alansal değişimlerinde yaşanması olası olan değişimlere ilişkin tahmini bulguların birbirini desteklediğini söylemek mümkündür. Ancak daha bir genel çerçeve çizilecek olursa her iki iklim senaryosuna göre DeMortanne ve Emberger indeksleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda iklim tipleri itibarıyla plan ünitesindeki orman alanlarının günümüz koşullarına göre tahmin edilen değişimine ilişkin veriler Tablo 4.16’da gösterilmiştir. Tablo 4.16’ya göre günümüz ekolojik koşullarında araştırma alanını oluşturan Ilgaz Orman İşletme Şefliğine ait plan ünitesinde yer alan ormanların tamamı “Yarı Nemli” ve “Nemli” iklim tiplerinin içinde bulunmakta olup, “Kurak” ve “Yarı Kurak” iklim tiplerinde orman alanı bulunmamaktadır. Ancak ilk iklim senaryosu SSPs245’e göre ortalama sıcaklığın 2,5°C artması halinde 2060 yılında araştırma alanındaki ormanlardan 6102,9 ha’ı ve 2100 yılında da 9652,7 ha’ı “Yarı Kurak” iklim tipine geçiş yapacağı gerçekleştirilen tahminler sonucunda belirlenmiştir. Yine aynı iklim senaryosuna göre hem 2060 yılında hem de 2100 yılında “Nemli” ve “Yarı Nemli” iklim tiplerindeki orman alanlarının önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür (Tablo 4.16). SSPs585 iklim değişikliği senaryosuna göre ise ortalama sıcaklığın 5,8°C artması halinde 2060 yılında “Nemli” ve “Yarı Nemli” iklim tipindeki orman alanlarında önemli bir azalmanın olacağı buna karşılık “Yarı Kurak” iklim tipindeki orman alanlarında ise alansal dağılımın oldukça yüksek oranlarda olacağı tahmin edilmektedir. Yine aynı iklim senaryosuna göre 2100 yılında araştırma alanında daha önce hiç varlığı söz konusu olmayan ve büyüklüğü 4841,6 ha olan orman alanının “Kurak” iklim tipine geçiş yapacağı ihtimali ortaya çıkmış olup, yine 2100 yılında aynı senaryoya göre “Nemli” iklim tipinde Uludağ göknarının da hâkim olduğu orman kuşaklarının tamamının ortadan kalkacağı tahmin edilmiştir (Tablo 4.16). İklim tipleri itibarıyla Tablo 4.16’da ortaya çıkan bu tahmin sonuçları da Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’te yağış ve sıcaklık verilerinde ortaya çıkan tahmin sonuçlarını ve hesaplamalarını destekler niteliktedir.

Ilgaz Orman İşletme Şefliği doğal orman sınırında bulunan saf Uludağ göknarı ormanlarında doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada yetiştirme ortamı koşulları ve deneme alanlarında bulunan göknar bireyleri ile gençliklerinde yapılan kantitatif karakterlerde yapılan ölçümlerden elde edilen bulgular ve WorldClim senaryolarının uygulanması ile ulaşılan sonuçlar kullanılarak küresel iklim değişikliğine bağlı değişimlerin ve bu değişimlere neden olan en önemli faktörlerin belirlenmesinde

günümüzde istatistikte ve çok boyutlu karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılan kNN (K-Nearest Neighbors), LVQ (Learning Vector Quantization), SVM (Support Vector Machine), RPART (Decision Trees) ve RF (Random Forest) mekanik öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Bu amaçla uygulanan mekanik öğrenme algoritmaları itibarıyla yıllara göre elde edilen tahmin doğruluk derecelerine ilişkin sonuçlar Tablo 4.17’de verilmiştir. Tablo 4.16’daki sonuçlara göre, 2019, 2020 ve 2021 yılları için araştırma alanındaki doğal orman sınırında bulunan ve doğal ağaç sınırında yer alan göknar meşcereleri ile göknar gençlik kolektiflerindeki göknar gençliklerine ilişkin kantitatif karakter ile yetiştirme ortamı koşulları ve uygulanan iklim değişikliği senaryolarından elde edilen veriler kullanılarak uygulanan mekanik öğrenme algoritmaları sonucunda bu algoritmalar içinde iklim değişikliğinin göknar ormanları ve göknar gençliği üzerindeki etkilerini en iyi tahmin eden algoritma her üç yıl içinde sırasıyla %76,62, %77,93 ve %79,76’lık doğruluk düzeyleri ve dereceleri ile “Random Forest (RF)” algoritması olmuştur. Bu algoritmayı sırasıyla kNN, LVQ, SVM ve RPART mekanik öğrenme algoritmaları izlemiştir.

İlgaz Orman İşletme Şefliğindeki doğal orman ve ağaç sınırında bulunan saf göknar meşcereleri (Gcd₃) ile doğal göknar gençlik kolektiflerinde doktora tezi olarak bir ön değerlendirme ve bazı bilimsel yaklaşımlarda bulunmak amaçlarıyla gerçekleştirilen bu araştırmadan elde edilen bulgular ışığında, yöredeki doğal ekolojik denge ve orman ekosistemi için çok önemli olan Uludağ göknarına ait saf meşcerelerde ve orman kuruluşlarında büyüme gerilemeleri ya da meşcere dinamiklerinde çok sayıdaki biyotik ve abiyotik faktörün etkisine rağmen bazı meşcerelerde seçme işletmesi özelliğinin kaybolup tek tabakalı kuruluşa dönmek dışında çok büyük farklılıklar yaratan unsurlara rastlanmamıştır. Ancak buna rağmen özellikle 20 örnekten alınan karotlarda yapılan yıllık halka analizlerinde özellikle ilkbahar sonu ve yaz aylarında yaşanan yüksek sıcaklıklar nedeniyle birtakım daralmaların ve gelişim gerilemelerinin görülmesi endişe verici durumların çalışma alanındaki orman kaynaklarında küresel iklim değişikliğinin etkilerinin görülmeye başlanması anlamında bir başlangıç teşkil edebileceği ihtimalini güçlendirmektedir. Bu itibarla silvikültürel açıdan yüksek dağ basamağında olan araştırma alanındaki ekstrem ekolojik koşullar dikkate alındığında maktalı ve aynı yaşlı orman kuruluşu tesis etme faaliyetlerinin uygulanmasından kaçınılmalıdır. Üç yıl (2019-2021) gibi kısa sürede gerçekleşen bu araştırma kapsamında söz konusu değişimlerin ortaya konulabilmesi için çok detaylı ve ayrıntılı tespitlerin gerçekleştirilmesi mümkün

olamamıştır. Bu nedenle yörede yapılan teknik müdahalelerde dahil olmak üzere Ilgaz Dağı Milli Park alanları da araştırma kapsamına alınacak şekilde tüm biyotik, abiyotik, sosyal, kültürel ve ekonomik faaliyetlerin etkileri çok daha uzun süreçlerde modern araştırma teknikleri (GIS ve LİDAR gibi) kullanılarak ve özellikle alanda kurulacak çok detaylı ve kapsamlı ölçümler yapabilen meteoroloji istasyonlarından alınan veriler ile planlanmalı ve gerçekleştirilmelidir. Bu anlamda ormancılık alanında araştırmalar yapan bilim insanlarının yanına zooloji, ekoloji, yaban hayatı, klimatoloji, jeoloji, ziraat vb. bilim alanlarından olan araştırmacılar ve bilim insanları da dahil edilerek çok boyutlu ve karşılıklı ilişkilerin de ortaya konulduğu geniş araştırma ekipleri kurulmalı ve bunların gerçekleştireceği araştırma çalışmaları tüm yönleriyle maddi olarak desteklenmelidir. Diğer taraftan, Ilgaz Dağları ve başta ormanlar olmak üzere sahip olduğu doğal kaynaklar ülkemiz açısından çok önemli olup, ülkemizin herhangi bir yöresinde yaşayan insanımızın temiz hava ve suya ulaşmasında çok etkin bir rol oynamaktadır. Bu nedenle küresel iklim değişikliği senaryoları ile tahminde bulunan ve ortaya konulan iklim değişikliğine bağlı alandaki ve orman kaynaklarındaki değişimler acil birtakım önlemlerin şimdiden alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle yörede Uludağ göknarı başta olmak üzere doğal yayılış gösteren tüm ağaç, bitki ve hayvan çeşitlerinin genetik açıdan devamlılığını sağlamak adına gen kaynakları uygun koruma yöntemleri ile koruma altına alınmalıdır. Bunun yanı sıra orman kaynaklarında gerçekleştirilen silvikültürel müdahalelerde ve diğer teknik uygulamalarda odun hammaddesi alınma ve temin etme kaygısına asla düşülmeden tamamen ekolojik dengeyi ve mevcut ekosistemi korumaya yönelik tedrici ve ılımlı yönetim şekilleri ve stratejileri belirlenmelidir.

Bu alandaki doğal su kaynakları ve toprak mümkün olduğunca korunmalı, erozyon, sel ve çığ tehlikelerine karşı dikkatli olunmalı ve bu risk unsurlarını harekete geçirecek işlem ve uygulamalardan kaçınılmalıdır. Ayrıca, yörede gerçekleştirilen ve kırsal kalkınma açısından çok önemli olan hayvancılık faaliyetlerinin doğal orman kaynaklarına olası olumsuz etkileri düşünülerek ve gözönünde bulundurularak tüm detayları ile düşünülmüş ve planlanmış mera alanları tesis edilmeli ve bilimsel yöntemlere uygun olarak işletilmelidir. Bunun yanı sıra özellikle araştırma alanında bulunan ve doğal olarak meydana gelmiş olan kendine özgü ekolojik özelliklere sahip ormaniçi boşluklar hem bitki hem de hayvan biyolojik çeşitliliği açısından korunmalı ve doğru yönetilmelidir. Bu durum küresel iklim değişikliğinin olası olumsuz etkilerinin hafifletilmesi ve özellikle bitkisel ve hayvansal biyolojik çeşitliliğin korunması açısından oldukça önemli olduğu

unutulmamalıdır. Araştırma alanında ülkemizin klimatolojisi açısından önemli eşik değerler arz eden önemli hava olaylarına karşı periyodik ve gözlem ve ölçümlerle elde edilen tüm veriler hem araştırma alanı içinde hem de araştırma alanına komşu olan yörelerde bulunan doğal popülasyonlara ilişkin dinamiklerle ilişkilendirilmeli ve ortaya çıkacak beklenmedik olaylara ilişkin bir risk analizi yapılarak, risk derecesine göre alanlar sınıflandırılmalı ve oluşabilecek olumsuz olayların olası etkilerine ve sonuçlarına karşı doğayı ve toplumu korumaya yönelik alternatif çözüm planları ve yolları şimdiden ülkemizin tamamında olduğu gibi bu yöre için de planlanmalıdır.

Her konuda olduğu gibi küresel iklim değişikliği ve etkileri çerçevesinde de en zararlı unsurun insan faktörü olduğu asla unutulmamalıdır. Bu kapsamda başta doğal dengenin ve çevrenin korunması olmak üzere tüm paydaş grupları belirlenmeli ve bu paydaşların eğitimi için gerekli eğitim süreçleri planlanmalı ve uygulamaya geçirilmelidir. Doğal ekosistemi ve toplum yaşamını tehlikeye sokabilecek faaliyetler açıklanmalı ve bu uygulamalardan uzak durulması sağlanmalıdır. Bu kapsamda gerekli yasal önlemler ve süreçlerde de gerekli düzenlemeler ve güncellemeler yapılmalı ve uygulamaya geçirilmelidir. Diğer taraftan tüm orman kaynaklarında olduğu gibi yöredeki doğal orman kaynaklarının korunmasında da modern değerlendirme yöntemleri, geliştirilmiş modeller, çok kriterli karar destek yöntemlerinden yararlanılmalı ve özellikle arazi kullanım sınıflarının belirlenmesine araştırma alanında olduğu gibi doğa koruma açısından çok önemli olan sıcak noktalarda ayrı bir önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, B., Wang, Y., Hao, J., Liu, Y., Bohnett, E., Zhang, K., 2018. Optimizing stand structure for trade-offs between overstory timber production and understory plant diversity: A case-study of a larch plantation in northwest China. *Land Degrad Development* 29, 2998–3008.
- Akkemik, Ü. (1997). Batı Akdeniz Bölgesi'ndeki *Pinus nigra* Arn. ve *Abies cilicica* Carr. Taksonlarında Dendrokronolojik Araştırmalar, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Botanigi Programı Doktora Tezi (yayımlanmamış), İstanbul, 159 s.
- Allen, C. D., Breshears, D. D., McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6: 1–55.
- Anşin, R., Özkan, Z.C. (1997). *Abies* Mill. Gökarnlar, Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta), Odunsu Taksonlar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi. Trabzon. 167, 19, 66-72.
- Asquith, N.M., Vargas, M.T., Wunder, S. (2008). Selling two environmental services: In kind payments for bird habitat and watershed protection in Los Negros, Bolivia. *Ecological Economy*. 65: 675–684.
- Asbjornsen, H., McIntire, C.D., Vadeboncoeur, M.A., Jennings, K.A., Coble, A.P., Berry, Z. C. (2021). Sensitivity and threshold dynamics of *Pinus strobus* and *Quercus* spp. In response to experimental and naturally occurring severe droughts. *Tree Physiology* 41: 1819–1835
- Ata, C. (1995). Silvikültür Tekniğı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Yayınları, 4(3), Bartsn.
- Ayan, S., Mutlu, Ç., Kaya, N., 2002. Kastamonu Bölgesi Subalpin Basamağındaki Gençleştirme Objeleri ve Silvikültürel Uygulamalar, Türkiye 1. Dağlar Yılı Sempozyumu, 106-113, Kastamonu.
- Ayan, S., Sıvacıoğlu, A. (2002). Silvicultural Evaluations of Storm Damage of Fir (*Abies bormülleriana* Mattf.) Stands in Ilgaz Mountains –Turkey (Abstract), Symposium Ecological and Economic Benefits of Mountain Forests, Proceedings, p.38-39, 15-18 September 2002, Innsbruck-Avusturya.
- Ayan, S., Bugday, E., Varol, T., Özel, H. B., Thurm, E. A. (2022). Effect of climate change on potential distribution of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in the twenty-first century in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(1), 165-177.
- Baessler, C., Mueller, J., Hothorn, T., Kneib, T., Badeck, F., Dziok, F. (2010). Estimation of the extinction risk for high-montane species as a consequence of

- globalwarming and assessment of their suitability as cross-taxon indicators. *Ecological indicators*, 10(2), 341-352.
- Bagstad, K.J., Semmens, D.J., Waage, S., Winthrop, R. (2013). A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services* 5: 27–39
- Batllo, E., Camarero, J. J., Ninot, J. M., Gutiérrez, E. (2009). Seedling recruitment, survival and facilitation in alpine *Pinus uncinata* tree line ecotones. Implications and potential responses to climate warming. *Global Ecology and Biogeography*, 18(4), 460-472.
- Benavides, R., Escudero, A., Coll, L., Ferrandis, P., Gouriveau, F., Hódar, J. A., ... Valladares, F. (2015). Survival vs. growth trade-off in early recruitment challenges global warming impacts on Mediterranean mountain trees. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17(5), 369-378.
- Benlloch-González, M., Sánchez-Lucas, R., Bejaoui, M. A., Benlloch, M., Fernández-Escobar, R. (2019). Global warming effects on yield and fruit maturation of olive trees growing under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 249, 162-167.
- Boumans, R., Roman, J., Altman, I., Kaufman, L. (2015). The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems. *Ecosystem Services* 12, 30–41.
- Caldwell, P.V., Miniati, C.F., Elliott, K.J., Swank, W.T., Brantley, S.T., Laseter, S.H. (2016). Declining water yield from forested mountain watersheds in response to climate change and forest mesophication. *Global Change Biology* 22: 2997–3012.
- Camarero, J.J., Linares, J.C., García-Cervigon, A.I., Batllo, E., Martínez, I., Gutiérrez, E., (2017). Back to the future: the responses of alpine treelines to climate warming are constrained by the current ecotone structure. *Ecosystems* 20, 683–700.
- Cao, J., Liu, H., Zhao, B., Li, Z., Liang, B., Shi, L., Wu, L., Cressey, E.I., Quine, T. A. (2021). High forest stand density exacerbates growth decline of conifers driven by warming but not broad-leaved trees in temperate mixed forest in northeast Asia. *Science of The Total Environment*, 795, 1-7
- Capriolo, A., Boschetto, R.G., Mascolo, R.A., Balbi, S., Villa, F. (2020). Biophysical and economic assessment of four ecosystem services for natural capital accounting in Italy. *Ecosystem Services* 46, 1-10.
- Coates, K. D. (2002). Tree recruitment in gaps of various size, clearcuts and undisturbed mixed forest of interior British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 155, 387–398.
- Çolak, A. H., Pitterle, A., 1999. Yüksek Dağ Silvikültürü, Cilt I-Orta Avrupa. Genel Prensipler, I. Baskı, İstanbul.

- Çolakoğlu, A. A. (2020). Makine öğrenmesi algoritmaları ile Avrupa havalimanları analizi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Dede, V., Dengiz, O., Demirağ Turan, İ., Türkeş, M., Gökçe, C., Serin, S. (2020). Ilgaz Dağları Periglasyal Şekillerinde Oluşmuş Toprakların Fizikokimyasal Özellikleri ile Bazı Erozyon Duyarlılık Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi/Turkish Journal of Geographical Sciences*, 18(1), 99-123
- Dünya Bankası (2007) World development report 2008: Agriculture and forestry for development. World Bank, Washington, DC
- Eraslan, İ., Yüksel, Ş., Giray, N. (1984). Batı Karadeniz Bölgesindeki Değişikyaşlı Kuru Ormanlarının Optimal Kuruluşları Hakkında Araştırmalar, T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Sıra No: 650, Seri No: 58, Ankara, 161 s.
- Elliott, G. P., Cowell, C. M. (2015). Slope aspect mediates fine-scale tree establishment patterns at upper treeline during wet and dry periods of the 20th century. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47, 679–690.
- Fajardo, A., McIntire, E. J. B. (2012). Reversal of multicentury tree growth improvements and loss of synchrony at mountain tree lines point to changes in key drivers. *Journal of Ecology*, 100: 782–794
- Gaál, M., Moriondo, M., Bindi, M. (2012). Modelling the impact of climate change on the Hungarian wine regions using random forest. *Applied. Ecology and Environmental Research*, 10(2), 121-140.
- Germiño, M. J., Smith, W. K., Resor, A. C. (2002). Conifer seedling distribution and survival in an alpine-treeline ecotone. *Plant Ecology*, 162(2), 157-168.
- George, J. P., Schueler, S., Karanitsch-Ackerl, S., Mayer, K., Klumpp, R. T., Grabner, M. (2015). Inter-and intra-specific variation in drought sensitivity in *Abies spec.* and its relation to wood density and growth traits. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 430-443.
- Gonzalez-Díaz, P., Gazol, A., Valbuena-Carabana, M., Sangüesa-Barreda, G., Moreno Urbano, A., Zavala, M.A., Camarero, J.J. (2020). Remaking a stand: links between genetic diversity and tree growth in expanding Mountain pine populations. *Forest Ecology and Management* 472, 1-15.
- Gorbunova, V.D., Menshikov, S.L., Ayan, S., 2020. The effects of altitude on macronutrient concentration in birch leaves (*Betula pubescens* & *B. pendula*) along the high-altitude gradient in Northern Urals. *Forestry Ideas*, 26, 1 (59) 15-29.
- Guo, M., Zhang, Y., Liu, S., Gu, F., Wang, X., Li, Z., Gu, F., Wang, X., Li, Z., Shi, C., Fan, Z. (2019). Divergent growth between spruce and fir at alpine treelines on the

- east edge of the Tibetan Plateau in response to recent climate warming. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276: 1-10
- Holtmeier, F., Broll, G. (2005). Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography*, 14: 395–410.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core writing team, RK Pachauri and LA Meyer (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kharuk, V. I., Ranson, K. J., Im, S. T., Vdovin, A. S. (2010). Spatial distribution and temporal dynamics of high-elevation forest stands in southern Siberia. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 822–830.
- Knighton, J., Vijay, V., Palmer, M. (2020). Alignment of tree phenology and climate seasonality influences the runoff response to forest cover loss. *Environmental Research. Letters*. 15, 1-12.
- Köse, N. (2012). Climatic Factors Affecting Tree-Ring Growth of *Abies nordmanniana* (Stev) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode & Cullen from Kastamonu, Turkey. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 62 (1), 71-83.
- Kullman, L., Öberg, L. (2009). Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: A landscape ecological perspective. *Journal of Ecology*, 97, 415–429.
- Liang, E., Dawadi, B., Pederson, N., Eckstein, D. (2014). Is the growth of birch at the upper timberline in the Himalayas limited by moisture or by temperature? *Ecology*, 95: 2453–2465.
- Liu, H., Yin, Y. (2013). Response of forest distribution to past climate change: An insight into future predictions. *Chinese Science Bulletin*, 58: 4426–4436.
- Lyu, L., Zhang, Q.B., Pellatt, M.G., Büntgen, U., Li, M.H., Cherubini, P. (2019). Drought limitation on tree growth at the Northern Hemisphere's highest tree line. *Dendrochronologia* 53, 40–47.
- Mastrangelo, M.E., Weyland, F., Villarino, S.H., Barral, M.P., Nahuelhual, L., Laterra, P. (2014). Concepts and methods for landscape multifunctionality and a unifying framework based on ecosystem services. *Landscape Ecology* 29, 345–358.
- Matías, L., Hidalgo-Galvez, M. D., Cambrollé, J., Domínguez, M. T., Pérez-Ramos, I. M. (2021). How will forecasted warming and drought affect soil respiration in savannah ecosystems? The role of tree canopy and grazing legacy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 304, 1-9.
- MGM (2022). Ilgaz Yöresi Uzun Yıllar (2014-2022) Meteorolojik Rasat Değerleri, T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 23 s., Ankara.

- OGM (2021). Ilgaz Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Amenajman Planı, Ankara.
- Ortiz, C. A., Hammar, T., Ahlgren, S., Hansson, P. A., Stendahl, J. (2016). Time-dependent global warming impact of tree stump bioenergy in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 371, 5-14.
- Öner, N. (2006). Ilgaz Dağı'nın güney aklarındaki orman toplumları ve silvikültürel özellikleri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56 (1) , 109-133.
- Pan, S. A., Hao, G., Li, X., Feng, Q., Liu, X., Sun, O. J. (2022). Altitudinal variations of hydraulic traits in Faxon fir (*Abies fargesii* var. *faxoniana*): Mechanistic controls and environmental adaptability. *Forest Ecosystems*, 9, 1-12
- Papadopoulos, A. (2016). Tree-ring patterns and climate response of Mediterranean fir populations in Central Greece. *Dendrochronologia*, 40, 17-25.
- Pavlović, L., Stojanović, D., Mladenović, E., Lakićević, M., Orlović, S. (2019). Potential elevation shift of the european beech stands (*Fagus sylvatica* L.) in Serbia. *Frontiers Plant Science* 10, 1–8
- Petritan, A. M., Petritan, I. C., Hevia, A., Walentowski, H., Bouriaud, O., Sánchez-Salguero, R. (2021). Climate warming predispose sessile oak forests to drought-induced tree mortality regardless of management legacies. *Forest Ecology and Management*, 491: 1-13
- Qazi, N.Q., Bruijnzeel, L.A., Rai, S.P., Ghimire, C.P. (2017). Impact of forest degradation on streamflow regime and runoff response to rainfall in the Garhwal Himalaya, Northwest India. *Journal of Hydrological Science* 62, 1114–1130.
- Rutten, G., Gomez-Aparicio, L. (2018). Plant-soil feedbacks and root responses of two Mediterranean oaks along a precipitation gradient. *Plant Soil* 424, 221–231.
- Saatçioğlu, F. (1969) Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İ.Ü Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 1429, O.F Yayın No: 138, İstanbul, 323 s.
- Saatçioğlu, F. (1979) *Silvikültür II (Silvikültürün Tekniği)*, İ.Ü Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 1648, O.F Yayın No: 172, İstanbul, 562 s.
- Sanchez-Salguero, R., Camarero, J.J., Gutiérrez, E., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Moiseev, P., Linares, J.C. (2018). Climate warming alters age-dependent growth sensitivity to temperature in Eurasian alpine treelines. *Forests*. 9, 688-674
- Sarıyıldız, T. , Savacı, G., Parlak, S., Gencal, B. (2022). Uludağ Gökarnı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) meşcerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonları ve stokları üzerinde bakı ve yükseltinin etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 23 (2) , 159-174

- Serna-Chavez, H.M., Swenson, N.G., Weiser, M.D., Van Loon, E.E., Bouten, W., Davidson, M.D., van Bodegom, P.M. (2017). Strong biotic influences on regional patterns of climate regulation services. *Global Biogeochemical Cycles* 31, 787–803.
- Sharma, B., Fan, Z. X., Panthi, S., Gaire, N. P., Fu, P. L., Zaw, Z. (2022). Warming induced tree-growth decline of *Toona ciliata* in (sub-) tropical southwestern China. *Dendrochronologia*, 73: 1-10.
- Shi, H., Zhou, Q., He, R., Zhang, Q., Dang, H. (2022). Climate warming will widen the lagging gap of global treeline shift relative to densification. *Agricultural and Forest Meteorology*, 318, 108917.
- Shugart, H., Sedjo, R., Sohngen, B. (2003). Forests and Global Climate Change: Potential Impacts on Forest Resources. Forest Resources Department (Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA).
- Silva, L.C.R., Sun, G., Zhu-barker, X., Liang, Q., Wu, N., Horwath, W.R. (2016). Tree growth acceleration and expansion of alpine forests: the synergistic effect of atmospheric and edaphic change. *Science Advances* 2: 17-23
- Syrbe, R.U., Grunewald, K. (2017). Ecosystem service supply and demand – the challenge to balance spatial mismatches. *International of Journal Biodiversity Science Ecosystem Services Management*. 13: 148–161.
- Şevik, H. (2012). Variation in seedling morphology of Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf), *African Journal of Biotechnology* 11(23), pp. 6389-6395.
- Şimşek, Z., Öner, N. (2002). Ilgaz-Yenice orman ekosisteminde bulunan kabuk böceklerinin salgın yapmasında meşcere yapısı ve iklim koşullarının etkisi. II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 12 s.
- Taleshi, H., Jalali, S. G., Alavi, S. J., Hosseini, S. M., Naimi, B., Zimmermann, N. E. (2019). Climate change impacts on the distribution and diversity of major tree species in the temperate forests of Northern Iran. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2711-2728.
- Tekin, O., Çetin, M., Varol, T., Özel, H. B., Şevik, H., Zeren Çetin, I. (2022). Altitudinal migration of species of Fir (*Abies* spp.) in adaptation to climate change. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(9), 1-16.
- Thurm, E. A., Hernandez, L., Baltensweiler, A., Ayan, S., Rasztovits, E., Bielak, K., Zlatanov, T.M., Hladnik, D., Büchsenmeister, R., Balic, B., Freudenschuss, A., Falk, W. (2018). Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *Forest Ecology and Management*, 430, 485-497.
- Topaçoğlu, O., Bozkuş, H. F., Güney, K. (2008). Ilgaz Dağı Kuzey Bakıda Subalpin ve Yüksek Montan Yükselti Basamağındaki Bazı Meşcere Kuruluşlarının

Silvikültürel Özellikleri. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 8(1), 1-13.

Turna, İ., Şevik, H., Yahyaoğlu, Z. (2010). Uludağ Göknaarı (Abies nordmanniana subsp. bornmülleriana Mattf.) Populasyonlarında Tohum Özelliklerine Bağlı Genetik Çeşitlilik, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt:II, s, 733-740, 20-22 Mayıs 2010, Artvin

UNECE (2006)Forest ProductsAnnual Market Review 2005–2006(United Nations, New York)

Üçler, A.Ö. 2002. Alpin Zon Ağaçlandırmaları ve Doğu Karadeniz Bölgesi Uygulamaları İçin Yaklaşımlar, Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi, II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 15-18 Mayıs 2002, Artvin.

Ülker, E. (2022). Forecasting Precipitation by Machine Learning Algorithms to Adapt Climate Change.*JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*,4(2), 109-118.

Vachnadze, G. S., Tiginashvili, Z. T., Tsereteli, G. V., Aptsiauri, B. N., Nishnianidze, Q. G. (2016). Carbon stock sequestered from the atmosphere by coniferous forests of Eastern Georgia in conditions of global warming. *Annals of Agrarian Science*, 14(2), 127-132.

Watling, J. I., Brandt, L. A., Bucklin, D. N., Fujisaki, I., Mazzotti, F. J., Romanach, S. S., Speroterra, C. (2015). Performance metrics and variance partitioning reveal sources of uncertainty in species distribution models. *Ecological Modelling*, 309, 48-59.

Wang, H., Zhu, A., Duan, A., Wu, H., Zhang, J. (2022). Responses to subtropical climate in radial growth and wood density of Chinese fir provenances, Southern China.*Forest Ecology and Management*,521, 120428.

Yousafzai, A., Manzoor, W., Raza, G., Mahmood, T., Rehman, F., Hadi, R., Shah, S., Amin, M., Akhtar, A., Bashir, S., Habiba, U., Hussain, M. (2021). Forest yield prediction under different climate change scenarios using data intelligent models in Pakistan.*Brazilian Journal of Biology*,84: 1-20.

Zheng, H. (2018). Analysis of global warming using machine learning.*Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*,7(03), 127-141.

ÖZGEÇMİŞ

