

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN BAZI DOĞU KAYINI (*Fagus orientalis* Lipsky.) ORJİNLERİNDE TEMEL MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK DEĞİŞİMLERİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Sümeyra IŞIK ÇAKMAKÇI

Danışman
Prof. Dr. Sinan GÜNER

Artvin 2024

TEZ BEYANNAMESİ

Artvin oruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Doktora Tezi olarak sunduğum “Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Bazı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Orijinlerinde Temel Morfolojik ve Fizyolojik Değişimlerin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Sinan GÜNER’in sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı taahhüt ederim. Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-ğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☐ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Artvin oruh niversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin 6 ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

24/09/2024

Sümeyra IŞIK ÇAKMAKÇI

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN BAZI DOĞU KAYINI (*Fagus orientalis* Lipsky.) ORJİNLERİNDE TEMEL MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK DEĞİŞİMLERİN ARAŞTIRILMASI

Sümeyra IŞIK ÇAKMAKÇI

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30/07/2024

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 13/08/2024

Başkan : Prof. Dr. İbrahim TURNA

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sinan GÜNER

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Aydın TÜFEKÇİOĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Mehmet DEMİRALAY

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Fatih TONGUÇ

ONAY:

Bu Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 13/08/2024 tarihinde **oybirliği** ile uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih vesayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../.....

Prof. Dr. Mustafa Çağatay KORKMAZ
Enstitü Müdür

ÖNSÖZ

“Kuraklık Stresine Maruz Bırakılan Bazı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Orijinlerinde Temel Morfolojik ve Fizyolojik Değişimlerin Araştırılması” adlı bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora konumun seçiminden, tez yazımına kadar çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm, çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sinan GÜNER’e teşekkürlerimi sunarım. Tezimin materyal temininde yardımlarını esirgemeyen Bolu, İstanbul, Zonguldak ve Giresun Orman Bölge Müdürlerimize teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Aydın TÜFEKÇİOĞLU ve Prof. Dr. İbrahim TURNA hocalarıma, tez çalışmasında kullandığım analiz yöntemlerinde beceri kazanmamı sağlayan Sayın Doç. Dr. Mehmet DEMİRALAY hocama, kıymetli görüşlerinden yararlandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Deniz GÜNEY’e, Doç. Dr. Aşkın GÖKTÜRK’e, Doç. Dr. Fahrettin ATAR’a, Dr. Öğr. Üyesi İsmet YENER’e teşekkürü bir borç bilirim. Laboratuvar ve sera çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Burak KILIÇ’a, Öğr. Gör. Caner SATIRAL’a ve emeği geçen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca sonsuz çaba, destek ve güvenleri ile bugünlere gelmemde en büyük emekleri olan, her zaman varlıklarına şükrettiğim, hayatta verdiğim tüm kararlarda yanımda duran, her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve eşime sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince, 100/2000 YÖK Doktora Bursu Programı kapsamında İklim Değişikliği Öncelikli Alanında burs desteği sağlayan YÖK’e teşekkür ederim.

Araştırmanın bilimsel ve teknik açıdan uygulayıcılara faydalı olmasını dilerim.

Sümeyra IŞIK ÇAKMAKÇI
Artvin-2024

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEZ BEYANNAMESİ.....	I
JÜRİ KABUL TUTANAĞI.....	II
ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
1.1.1 Bitkilerde Stres.....	4
1.1.2 Kuraklık	5
1.1.3 Bitkiler ve Su	7
1.2 Kuraklık Stresi ve Etkileri	7
1.2.1 Bitkilerin Kuraklık Stresine Karşı Geliştirdiği Savunma Mekanizmaları	8
1.2.2 Kuraklık Stresinin Ormanlar Üzerine Etkisi.....	9
1.2.3 Kuraklık Stresinin Bitkilerin Temel Morfolojik (Büyüme Parametreleri) Özellikleri Üzerine Etkisi	11
1.2.4 Bitkilerin Morfolojik Özellikleri Üzerine Yükseltinin (Rakım) Etkisi.....	12
1.3 Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky.).....	14
1.3.1 Doğu Kayınının Botanik ve Silvikültürel Özellikleri	14
1.3.2 Doğu Kayınının Tohum ve Çimlenme Özellikleri.....	16
1.3.3 Doğu Kayınının Doğal Yayılış Sahası	18
1.4 Literatür Çalışması.....	19
2 MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
2.1 Materyal	33
2.1.1 Materyal Temini.....	33
2.1.2 Fidanların Yetiştirilmesi ve Deney tasarımı	35
2.2 Yöntem.....	36
2.2.1 Temel Morfolojik Özelliklerin (Büyüme Parametreleri) Belirlenmesi	36

2.2.2	Temel Stres Parametrelerinin (Fizyolojik Özelliklerin) Belirlenmesi	38
2.2.2.1	Nisbi Su İçeriği (RWC)	38
2.2.2.2	Toplam Klorofil İçeriği Optik Yöntem (SPAD) (CCI).....	38
2.2.2.3	Klorofil Floresansı	39
2.2.2.4	Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İçeriği.....	40
2.2.2.5	Lipid Peroksidasyonu Seviyesi (MDA)	40
2.3	Orijinlere Ait Bazı İklim Özellikleri.....	41
2.3.1	Thornthwaite İklim Sınıflandırması.....	41
2.3.2	Thornthwaite İklim Sınıflandırması indeksleri	50
2.3.2.1	Thornthwaite Yağış Etkinlik İndeksi	50
2.3.2.2	Thornthwaite Sıcaklık Etkinlik İndeksi	51
2.3.2.3	Thornthwaite Yağış Rejimi İndeksleri	52
2.3.2.4	Thornthwaite Etp'nin Üç Yaz Ayına Oranı İndeksi	54
2.4	İstatistiksel Analizler	59
3	BULGULAR.....	60
3.1	Temel Stres Parametrelerine (Fizyolojik Özelliklerine) İlişkin Bulgular	60
3.1.1	Nisbi Su İçeriğine (RWC) İlişkin Bulgular	60
3.1.2	Toplam Klorofil İçeriği Optik Yöntem SPAD (CCI) İlişkin Bulgular	62
3.1.3	Klorofil Floresansına (Fv/Fm) İlişkin Bulgular	65
3.1.4	Hidrojen Peroksit İçeriğine (H ₂ O ₂) İlişkin Bulgular.....	67
3.1.4.1	Lipid Peroksidasyonu Seviyesine (MDA) İlişkin Bulgular	69
3.2	Morfolojik Özelliklere (Büyüme Parametrelerine) İlişkin Bulgular	72
3.2.1	Fidan Boyuna (FB) (cm) İlişkin Bulgular.....	72
3.2.2	Kök Boğazı Çapına (KBC) (mm) İlişkin Bulgular	73
3.2.3	Yan dal Sayısına İlişkin Bulgular	75
3.2.4	Kök Hacmine (cm ³) İlişkin Bulgular	76
3.2.5	Kök Alanına (cm ²) İlişkin Bulgular	77
3.2.6	Kök Uzunluğuna (cm) İlişkin Bulgular	78
4	TARTIŞMA	80
4.1	Nisbi Su İçeriğine (RWC) İlişkin Tartışma	80
4.2	Toplam Klorofil İçeriğine İlişkin Tartışma.....	82
4.3	Klorofil Floresansına (Fv/Fm) İlişkin Tartışma.....	86
4.4	Hidrojen peroksit İçeriğine (H ₂ O ₂) İlişkin Tartışma.....	89

4.5	Lipid Peroksidasyonu seviyesine (MDA) İlişkin Tartışma	90
4.6	Morfolojik Özelliklere (Büyüme Parametrelerine) İlişkin Tartışma	91
4.7	İklim Özellikleri ve İklim Tipleri'ne İlişkin Tartışma	96
5	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
	KAYNAKLAR	102
	ÖZGEÇMİŞ.....	137



ÖZET

KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN BAZI DOĞU KAYINI (*Fagus orientalis* Lipsky.) ORJİNLERİNDE TEMEL MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK DEĞİŞİMLERİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada bazı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) orijinlerinin kuraklık stresine verdiği tepkilerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Serasında Bolu, İstanbul, Zonguldak, Giresun orijinli fidanlar yetiştirildikten sonra düzenli aralıklarla bakımları yapılmıştır ve 2023 yılının temmuz ayından itibaren 2. büyüme dönemindeki Doğu kayını fidanlarına kuraklık stresi denemeleri uygulanmıştır. Fidanlara kuraklık stresi uygulamak için 3 farklı sulama rejimi (günde 1 sulanan (kontrol), 2 günde 1 sulanan, hiç sulanmayan) oluşturulmuştur. Uygulamadan sonra ilk olarak serada fidanların kök boğazı çapları, fidan boyları, yan dal sayıları, toplam klorofil içerikleri, klorofil floresansları ölçülmüştür. Fidanlardan alınan kök numuneleriyle kök hacimleri, kök alanları ve kök uzunlukları belirlenip; yaprak numuneleriyle de nisbi su içerikleri, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve lipid peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit (MDA) analizleri yapılmıştır. Tüm parametreler bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıkların olduğu görülmüştür. Kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda kontrol grubuna kıyasla fidanların nisbi su içeriği, klorofil floresansı, toplam klorofil içeriği miktarlarının azaldığı belirlenmiştir. Hidrojen peroksit içerikleri ve malondialdehit seviyelerinde ise kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda kontrol grubuna kıyasla artış gözlenmiştir. Sonuç olarak; fizyolojik özellikler bakımından kuraklık stresinden en az etkilenen, morfolojik özellikler bakımından da en iyi kök ve gövde gelişimini gösteren İstanbul orijininin kuraklık stresine en toleranslı orijin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık stresi, Hidrojen peroksit, Lipid peroksidasyonu, Toplam klorofil içeriği, Klorofil floresansı, Nisbi su içeriği

SUMMARY

INVESTIGATION OF BASIC MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHANGES IN SOME ORIENTAL BEECH (*Fagus orientalis* LIPSKY.) ORIGINS EXPOSED TO DROUGHT STRESS

In this study, it was aimed to determine the responses of some Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) origins to drought stress. After the seedlings originating from Bolu, Istanbul, Zonguldak and Giresun were grown in the Greenhouse of the Forestry Faculty of Artvin Coruh University, they were maintained at regular intervals and drought stress applications were applied to the Oriental beech seedlings in the 2nd growth period starting from July 2023. Three different irrigation regimes (irrigation once a day (control), irrigation once every 2 days, no irrigation at all) were created to apply drought stress to the seedlings. After the treatment, firstly the root collar diameters, seedling heights, number of side branches, total chlorophyll contents and chlorophyll fluorescences of the seedlings were measured in the greenhouse. Root volumes, root areas and root lengths were determined with root samples taken from the seedlings; relative water contents, hydrogen peroxide (H_2O_2) and melondialdehyde (MDA), one of the end products of lipid peroxidation, were analyzed with leaf samples. It was observed that there were significant differences between the origins in terms of all parameters. It was determined that the amounts of relative water content, chlorophyll fluorescence and total chlorophyll content of the seedlings decreased in groups exposed to drought stress compared to the control group. An increase in hydrogen peroxide contents and malondialdehyde levels was observed in the groups exposed to drought stress compared to the control group. As a result; It was determined that the Istanbul origin, which was least affected by drought stress in terms of physiological characteristics and had showed the best root and stem development in terms of morphological characteristics, was the most tolerant origin to drought stress.

Keywords: Drought stress, Hydrogen peroxide, Lipid peroxidation, Total chlorophyll content, Chlorophyll fluorescence, Relative water content

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Orijinlere ait başlıca bilgiler	34
Tablo 2. Bolu için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu	55
Tablo 3. İstanbul için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu	56
Tablo 4. Zonguldak için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu.....	57
Tablo 5. Giresun için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu	58
Tablo 6. Orijin ve sulamaya bağlı RWC'ye (%) ait varyans analizi.....	60
Tablo 7. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı RWC (%) ilişkin sonuçlar	61
Tablo 8. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı olarak RWC (%) ilişkin sonuçlar....	61
Tablo 9. Orijin ve sulamaya bağlı SPAD (CCI) ait varyans analizi	63
Tablo 10. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı SPAD (CCI) sonuçları	63
Tablo 11. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı SPAD (CCI) sonuçları	64
Tablo 12. Orijin ve sulamaya bağlı Fv/Fm ait varyans analizi sonuçları	65
Tablo 13. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı Fv/Fm sonuçları.....	65
Tablo 14. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı Fv/Fm sonuçları	66
Tablo 15. Orijin ve sulamaya göre H ₂ O ₂ (nmolg ⁻¹ TA) varyans analizi.....	67
Tablo 16. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı H ₂ O ₂ (nmolg ⁻¹ TA) sonuçları.....	68
Tablo 17. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı H ₂ O ₂ 'ye (nmolg ⁻¹ TA) sonuçları....	68
Tablo 18. Orijin ve sulamaya göre MDA (µmolg ⁻¹ TA) varyans analizi.....	70
Tablo 19. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı MDA (µmolg ⁻¹ TA) sonuçları	70
Tablo 20. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı MDA'ya (µmolg ⁻¹ TA) sonuçları ..	71
Tablo 21. Fidan boylarına (cm) ilişkin sonuçlar	72
Tablo 22. Kök boğazı çaplarının (mm) ilişkin sonuçlar	73
Tablo 23. Yan dal sayılarına ilişkin sonuçlar.....	75
Tablo 24. Kök hacimlerine (cm ³) ilişkin sonuçlar	76
Tablo 25. Kök alanlarına (cm ²) ilişkin sonuçlar	77
Tablo 26. Kök uzunluklarına (cm) ilişkin sonuçlar	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bitkilerde görülen başlıca stres türleri	5
Şekil 2. Su eksikliğine karşı geliştirilen kaçış ve tolerans mekanizması	9
Şekil 3. Doğu kayınının kupulaları (a), havalandırarak açılmaları (b), tohumları (c) 15	
Şekil 4. Doğu kayını (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.) bireyleri	16
Şekil 5. Doğu kayınının (<i>Fagus orientalis</i> L.) Türkiye'deki yayılışı	18
Şekil 6. Doğu kayını orijinlerinin Türkiye haritasındaki konumları.....	33
Şekil 7. Doğu kayını orijinlerinin bölgesel konumu	33
Şekil 8. Tohumların kesme yöntemi ile tohum canlılığının belirlenmesi	34
Şekil 9. Boş ve dolu tohumların suda yüzdürme yöntemi ile belirlenmesi.....	35
Şekil 10. Tohumların polietilen tüplere ekimi	35
Şekil 11. Kumpasla kök boğazı çapının (mm) ölçülmesi	37
Şekil 12. Köklerin fidan gövdesinden ayrılıp, kök değerlerinin ölçülmesi	37
Şekil 13. SPAD-502 Plus cihazı klorofil içeriği ölçümü	39
Şekil 14. OS5p. cihazı ile Klorofil floresansının ölçülmesi.....	39
Şekil 15. H ₂ O ₂ ölçümü	40
Şekil 16. Malondialdehit (MDA) ölçümü	41
Şekil 17. Orijinlere ait aylık ortalama sıcaklık (°C) diyagramı (1991-2020).....	42
Şekil 18. Orijinlere ait aylık ortalama yağış diyagramı (1991-2020)	42
Şekil 19. Bolu'nun Thornthwaite su bilânçosu diyagramı.....	46
Şekil 20. İstanbul'un Thornthwaite su bilânçosu diyagramı.....	47
Şekil 21. Zonguldak'ın Thornthwaite su bilânçosu diyagramı	48
Şekil 22. Giresun'un Thornthwaite su bilânçosu diyagramı.....	49
Şekil 23. Thornthwaite Yağış Etkinlik İndeksi ve iklim özelliği.....	50
Şekil 24. Thornthwaite Sıcaklık Etkinlik İndeksi ve iklim özelliği	51
Şekil 25. Thornthwaite Nemlilik İndeksi ve iklim özelliği.....	52
Şekil 26. Thornthwaite Kuraklık İndeksi ve iklim özelliği.....	53
Şekil 27. Thornthwaite Etp'nin üç yaz ayına oranı İndeksi	54
Şekil 28. Orijinlere göre RWC değişimlerini gösteren diyagram	62
Şekil 29. Orijinlere göre klorofil içeriğindeki değişimlerini gösteren diyagram	64
Şekil 30. Orijinlere göre Fv/Fm değişimlerini gösteren diyagram	66
Şekil 31. Orijinlere göre H ₂ O ₂ (nmol ⁻¹ TA) değişimlerini gösteren diyagram	69

Şekil 32. Orijinlere göre MDA ($\mu\text{molg}^{-1}\text{TA}$) değişimlerini gösteren diyagram.....	71
Şekil 33. Orijinlere göre fidan boylarındaki değişimleri gösteren diyagram.....	73
Şekil 34. Orijinlere göre kök boğazı çaplarındaki değişimleri gösteren diyagram....	74
Şekil 35. Orijinlere göre yan dal sayılarındaki değişimleri gösteren diyagram.....	75
Şekil 36. Orijinlere göre kök hacmindeki değişimleri gösteren diyagram.....	77
Şekil 37. Orijinlere göre kök alanlarındaki değişimleri gösteren diyagram	78
Şekil 38. Orijinlere göre kök uzunluğundaki değişimleri gösteren diyagram	79



KISALTMALAR DİZİNİ

ANOVA	Analysis of Variance
BMÇMS	Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi
CF	Klorofil Floresansı
cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekaare
cm ³	Santimetreküp
CO ₂	Karbondioksit
D	Depolama
DD	Depo Değişikliği
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu
FB	Fidan boyu
Fo	Minimum Floresans Verimi
Fm	Maksimum Floresans Verimi
Fv	Değişken Floresans
Fv/Fm	Maksimum Fotosentetik Verimlilik
GET	Gerçek Evapotranspirasyon
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
ha	Hektar
ISTA	Uluslararası Tohum Test Birliği
KBÇ	Kök Boğaz Çapı
Kn	Kayın
Mak	Maksimum
MDA	Malondialdehit
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Min	Minimum
mm	Milimetre
ml	Mililitre
Ne	Nemlilik Oranı
O ₂ ⁻	Süperoksit Radikali
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OH ⁻	Hidroksil Radikalleri

PSI	Fotosistem I
PSII	Fotosistem II
ROT	Reaktif Oksijen Türleri
RWC	Relative Water Content
Sf	Su fazlası
Sn	Su noksanı
SPAD	The Soil-Plant Analyses Development
SPSS	Statistical Package For The Social Sciences
YÖK	Yükseköğretim Kurulu



1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Dünyayı etkisi altına alan çevre problemlerinin temelinde olan “küresel ısınma ve iklim değişikliği” ve beraberinde yaşanan ekolojik dönüşümler, 1990’ların ortasından beri insanlığı yakından etkilemektedir (Doğan ve Tüzer, 2011). Küresel ısınma, atmosferin dünya yüzeyine yakın kısımlarında ortalama dünya sıcaklığının doğal olarak ya da insan etkisiyle artması olarak ifade edilmektedir (Aksay ve ark., 2005). İklim değişikliği ise karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde izlenen doğal iklim değişikliklerine ek olarak doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini zarar veren insan faaliyetleri sonucunda iklimde meydana gelen değişiklikler olarak açıklanmaktadır (Türkeş ve ark., 2000). İnsan faaliyetleri ise fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı farklılıkları, ormansızlaştırma ve birçok sanayi süreçleri olarak ortaya çıkan aktivitelerdir. Bu etkiler, atmosfere salınan sera gazları içeriğinin hızla yükselmesine sebep olmakta ve bu hızlı yükselişin etkisiyle de yüzey sıcaklıklarında artışlar meydana gelmektedir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005; Yıldız, 2008). Küresel sıcaklıklardaki artışlarla beraber kara buzulları ve deniz buzlarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, hidrolojik döngünün değişmesi, sıcak hava dalgalarının şiddet ve sıklığının artması, bazı bölgelerde ekstrem yüksek yağışların ve taşkınların, bazı bölgelerde ise kuraklıkların daha şiddetli ve sık oluşması gibi olayların ekolojik sistemlere ve insan yaşamına etki edecek önemli değişiklikleri meydana getirmesi beklenmektedir (Türkeş, 2008). Bu sonuçlar dünya için gelecekte bir tehdit olarak belirtilmektedir (Turan, 2018). Türkiye’de konumundan dolayı kuraklığın etkilerinin hissedildiği bir noktada bulunmaktadır (Tüfekçioğlu ve Tüfekçioğlu, 2018).

Kuraklık, yağışların kaydedilen optimal düzeyinin altına inmesiyle beraber arazi ve su kaynaklarının, hidrolojik dengenin olumsuz etkilenmesine yol açan doğal bir olaydır (BMÇMS, 1997). Kuraklık bitkilerde morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal süreçleri etkileyerek büyümenin engellenmesine neden olmaktadır (Cao ve ark., 2011).

Ayrıca kuraklık sonucu su eksikliği fotosentetik pigmentlere zarar verir, hücre yapısını ve fonksiyonunu değiştirir, metabolizmayı bozar, besin alımını ve taşıma hızını yavaşlatır, bitki enerji tüketimini artırır, bitki büyümesini azaltır, bitki kalitesini düşürür ve hatta bitki ölümüne bile sebep olabilir (Ali ve Ashraf, 2011; Dawood ve Sadak, 2014; Zhu, 2016; Chakraborty ve ark., 2016; Nan ve ark., 2018; Bakhoun ve ark., 2019). Kuraklığın devam etmesi sonucunda bitkilerde de stres durumu ortaya çıkmaktadır.

Bütün canlılar çevre ile devamlı iletişim halindedirler ve uygun olmayan şartlar oluştuğunda adaptasyon eksikliğine bağlı olarak içinde bulundukları çevrede stresle karşılaşmaktadırlar. Stres, bitki üzerinde olumsuz etkileri olan dış etmenler olarak ifade edilmektedir (Büyük ve ark., 2012). Bitkilerde stres; su ve besin maddesi emiliminde, fotosentez mekanizmasında, büyüme, gelişme, üremede olumsuzluklara yol açmaktadır. Bitkilerde stres meydana geldiği zaman yapraklarının zamanından önce kuruduğu ya da döküldüğü görülmüştür (Salisbury ve Ross, 1994; Çepel, 1995).

Şiddetli yaz kuraklıkları (1976, 2003 ile 2018/19'da olduğu gibi) çeşitli kayın ormanlarında taç yapraklarının dökülmesine, dalların ve ağaçların ölmesine sebep olmuştur. Bu yüzden türün kuraklığa toleransı açısından, daha sıcak ve kuru bir dünyada, gelecekteki durumu endişe vericidir (Rennenberg ve ark., 2004; Geßler ve ark., 2007). Son yıllardaki aşırı kuraklık olayları, Orta Avrupa'da Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) için yüksek ölüm oranlarına sebep olduğu ifade edilmektedir (Hájíčková ve ark., 2024). Ayrıca, Avrupa kayınının (*Fagus sylvatica* L.) orman yapısının kuraklık stresine etkisinin araştırıldığı çalışmada, Avrupa kayınının 2018-2020 kuraklık döneminde önemli ölçüde zarar gördüğünü ve kuraklık dönemlerinde kayın ormanlarında büyümenin azalması ve yaprak dökülmesi gibi değişikliklerin olduğunu belirtmişlerdir (Mathes ve ark., 2024).

Su stresi, suyun fazlalığı ve eksikliği olarak iki durumda görülmektedir. Bunlardan birincisi, ortamda bitkinin gereksiniminden daha çok suyun bulunması (sel stresi); ikincisi ise ortamda bitkinin gereksiniminden daha az suyun olması (kuraklık stresi)'dir. Yani kuraklık stresi, toprakta var olan suyun ihtiyacı karşılayamaması nedeniyle bitkilerin normal gelişimlerini sürdürememesi durumudur (Levitt, 1980).

Ülkemizdeki orman alanı 1973'te 20,2 milyon ha, 1999'da 20,8 milyon ha, 2004'te 21,2 milyon ha, 2012'de 21,7 milyon ha, 2015'te 22,3 milyon ha, 2020'de 22,9 milyon ha, 2021'de 23,1 milyon ha, 2022'de 23,2 milyon ha'dır (URL-1). Türkiye orman alanlarının ağaç türlerine göre dağılımında Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) 4. sıradadır ve 1,9 ha (%8,19) alanı kaplamaktadır (URL-2). Ormanlarımızı daha verimli bir hale getirebilmek için öncelikle ormanlarımızı oluşturan ağaç türlerinin her yönüyle incelenmesi önem arz etmektedir. Ülkemiz ormanlarında birçok tür farklı yönleriyle araştırılmıştır. Doğu kayını öz odunu sert, güçlü ve darbelere karşı dayanıklı olduğu için ormancılık açısından önemlidir. Ayrıca kontrplak, mobilya, parke, ambalaj sandığı, odun kömürü, maden direği ve yakacak odun olarak kullanılan asli orman ağacı türlerinden biridir (Kandemir ve Kaya, 2009).

Su eksikliğinin, şimdiye kadar ağaç türlerinin büyüme ve gelişimine etki etmediği bölgelerde dahi, ileride kuraklık stresinin sebep olacağı sorunlarla karşı karşıya gelinebilir. Bu yüzden aynı iklim bölgelerindeki popülasyonların bile kuraklık stresine göre toleranslarının karşılaştırılması önem arz etmektedir (Namkoong, 1986; Chaves ve Oliveira, 2004). Bu nedenle lokal orijinlerin garantisi kesin olmadığı için kuraklığa toleranslı orijinlerin de belirlenmesi, gelecekteki ağaçlandırma stratejilerinin tespiti için gereklidir (Çalıkoğlu, 2002). Çünkü kuraklığa dayanıklı genotipler, suyun kıt olduğu koşullarda hem verimi artırma yeteneğine hem de hücresel metabolizmanın önemli fonksiyonlarını sürdürme ve stres sonrasında su dengesini ve bitki fonksiyonunu hızlı bir şekilde toparlama yeteneğine sahiptirler (Waseem ve ark., 2011). Bu yüzden yapılacak ormancılık uygulamalarında, kuraklık stresine karşı toleranslı türlerin yetiştirilmesinde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal bakımından mekanizmalarının incelenmesi gerekmektedir (Yüksel ve Aksoy, 2017). Bu çalışmada Bolu, İstanbul, Zonguldak, Giresun orijinli yetiştirilen Doğu kayını fidanlarına, 2. büyüme döneminde, 15 günlük kuraklık stresi denemeleri uygulanarak, yapılan analizler sonucunda hangi orijinin kuraklığa daha toleranslı olduğunun tespiti amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile kuraklığa toleranslı orijinlerin belirlenerek bunların uygun yetişme ortamlarında kullanılması, kayın ormanlarının sürdürülebilirliğinin sağlanması, gelecekte yapılacak kayın ağaçlandırılması çalışmalarında verimliliğin artırılması ve ağaçlandırma stratejilerinin tespit edilerek, tohum transferi, ıslah çalışmaları ve aktif gen korumanın altyapısını oluşturmaya

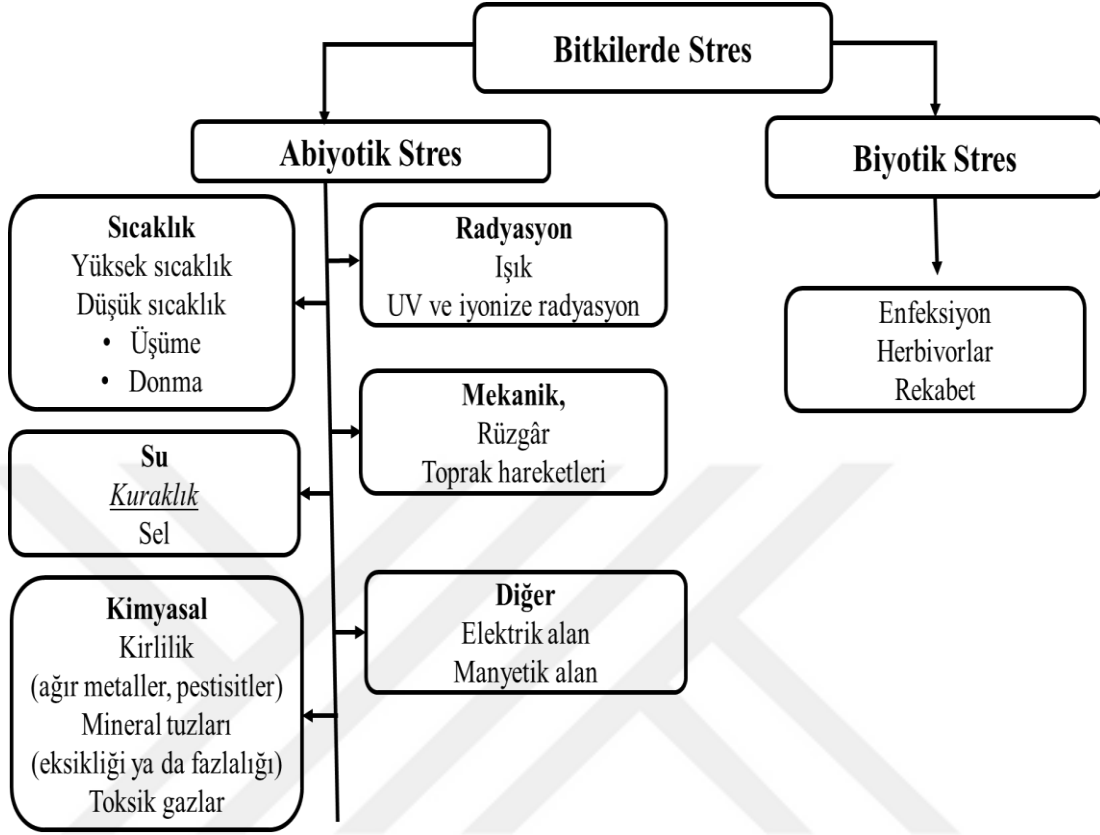
katkılar sağlaması beklenmektedir. Ayrıca bu çalışma hem bilimsel literatüre hem de ülkemiz ormancılık çalışmalarına yararlı olacaktır.

1.1.1 Bitkilerde Stres

Stres, bitkinin içinde bulunduğu çevre koşullarının, büyüme ve gelişmeyi olumsuz açıdan etki edecek kadar değiştirmesi halinde ortaya çıkan durum olarak tanımlanmaktadır (Büyük ve ark., 2012; Bakry ve ark., 2012).

Bitkiler hayatları boyunca birçok stres faktörleriyle karşılaşmaktadırlar (Schulze ve ark., 2005). Stres faktörleri canlı organizmalar ve ilişkilerine bağlı ise biyotik stres, canlı olmayan etmenlere (kuraklık, ışık, sıcaklık, don vb.) bağlı ise abiyotik stres olarak sınıflandırılmaktadır. Bu stres faktörleri bitki metabolizmasını etkileyebilir ve bitkileri hayati tehlikeye maruz bırakabilirler (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Abiyotik stres faktörleri; soğuk, sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, su fazlalığı, radyasyon, çeşitli kimyasallar, rüzgâr ve besin eksikliğinden meydana gelirken; biyotik faktörler ise virüs, bakteri ve mantarları içeren patojenler, böcekler ve herbivorlardan oluşmaktadır (Schulze ve ark., 2005; Yılmaz ve ark., 2011; Sadak, 2016; Bakhoun ve ark., 2023). Tüm bu faktörler bitkinin gelişimine, hayatta kalmasına ve ürün verimine olumsuz etki yapmaktadır (Agarwal ve ark., 2006; Abd Elhamid ve ark., 2016; Ahmed ve Sadak, 2016).

Bitkilerde meydana gelen stres türleri Şekil 1’de gösterilmiştir (Schulze ve ark., 2005).



Şekil 1. Bitkilerde görülen başlıca stres türleri

1.1.2 Kuraklık

Küresel iklim değişikliğinin yol açtığı başlıca olaylardan birisi de kuraklıktır (Akbaş, 2014). Kuraklık, yağışların bir bölgede tahmin edilenden daha az olması durumudur. Kuraklıktan bahsedebilmek için yağışların normal veya beklenen seviyenin altında olduğu zamanın en az bir mevsim veya bir yıl devam etmesi gerekmektedir (Anonim, 2022).

Kuraklık, ağır (iveğen, akut), sürekli (kronik), fizyolojik olarak üç grupta sınıflandırılmıştır. Akut kuraklığa bitkilerde sıcaklıktaki yükseliş veya nemdeki hızlı bir azalış; kronik kuraklığa ise topraktaki taban suyundaki azalış sebep olmaktadır (Eriş, 1990). Fizyolojik kuraklık ise toprakta yeterli su bulunmasına rağmen, bitkinin bazı sebeplerden (donma, tuzluluk) dolayı bu sudan faydalanamaması durumunda oluşmaktadır (Rabbani ve ark., 2003; Rengasamy, 2006; Beck ve ark., 2007).

Kuraklığın literatürde birçok tanımı bulunmaktadır. Meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olarak dört grupta sınıflandırılmaktadır (Anonim, 2022).

Meteorolojik kuraklık, yağış odaklıdır ve uzun bir süre yağışın normal değerlerinin altına inmesi olarak ifade edilmektedir (Anonim, 2022).

Tarımsal kuraklık, toprakta bitkinin gereksinimine yetecek seviyede su olmaması durumudur. Fakat bu durum yağış azlığı gibi belirtilmemelidir. Bir bölgede, yağış azken, bitki kök bölgesindeki toprakta bitkinin gelişmesini sürdürecektir kadar su bulunuyorsa tarımsal kuraklıktan söz edilemez (Anonim, 2022).

Hidrolojik kuraklık, nehir, göl ve yeraltı su kaynaklarındaki azalan su miktarı olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2022).

Sosyo-ekonomik kuraklık, meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkla alakalı bazı ekonomik ürünlerin arz ve talepleriyle alakalıdır. Yağışlardaki azalma neticesinde gelişen ve üretimin gereksinime yetemediği zamanlarda meydana gelmektedir (Anonim, 2022).

Kuraklık su eksikliği ve kuruma diye iki grupta sınıflandırılabilir:

Su eksikliği; stomalarda kapanmaya ve gaz değişiminde sınırlamaya sebep olan orta seviyedeki su kaybıdır. Oransal su miktarının aşağı yukarı %70'te kaldığı, az su eksikliğine uğrayan bitkilerde stomaların kapanmasıyla beraber karbondioksit alımı sınırlanmaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Kuruma; metabolizma ve hücre yapısının bozulması sonucunda enzimatik reaksiyonların sekteye uğramasına sebep olabilecek potansiyele sahip fazla ölçüdeki su kaybıdır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Kuraklık kavramı su açığının tekrarlama durumuna göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar; düzenli kuraklık ve geçici kuraklıktır. Düzenli kuraklık; buharlaşma vasıtasıyla yitirilen suyun yağış miktarını aştığı zamanlarda, sene içerisinde belli dönemlerde ortaya çıkmaktadır. Geçici kuraklık; bilinen düzenli periyotları olmayan, bitkilerin gelişmesini ve yetişmesini olumsuz etkileyecek derecede kuvvetli olan su kıtlığıdır (Çepel, 1995).

1.1.3 Bitkiler ve Su

Bitkiler için su en temel ihtiyaçtır. Suyu gereksinimleri olarak en düşük “Minimum”, en iyi “Optimum” en yüksek “Maksimum” miktarı olarak üç kategoriye ayrılmaktadır. İlk grup minimum halinin bitkilere yansımış halleri yapraklar pörsüyüp solmaya başlama ve sonuç olarak da kurumalarıdır. Bu hallerin sürmesi halinde “kuraklık ölümü” gerçekleşmektedir. İkinci grup olarak su miktarının optimum olması durumunda bitkinin kök ve gövde gelişimlerinin normal devam ettiğini göstermektedir. Üçüncü grup olarak topraktaki suyun en fazla olması durumunda toprak ıslaklığı oluşur ve kökler ihtiyaçları olan oksijen miktarını alamadıkları için bitki ölümü meydana gelmektedir (Saatçioğlu, 1976b).

Bitkiler kuraklığa tahammül edebilme becerilerine ve farklı su ihtiyaçları açısından dört sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar; Kserofitler, Higrofitler, Mezofitler ve Tropofitler’dir (Saatçioğlu, 1976b; Atalay, 2008). Kserofitler, kuraklığa genellikle adapte olur, tahammül edebilirler. Higrofitler, kuraklık karşısında hassas bir duruma sahiptirler. Mezofitler, su ihtiyaçları ve kuraklığa tahammül etme kabiliyetleri yönünden Kserofitlerin ve Higrofitlerin arasında yer almaktadırlar. Tropofitler ise su ihtiyaçları yönünden mevsimlere baz alındığında farklılık göstermektedirler. Örneğin; vejetasyon süresi içerisinde Mezofit, vejetasyon süreci dışında Kserofit özelliğe sahiptirler. Orman ağaçlarının çoğu bu karakteri taşımaktadır (Saatçioğlu, 1976b; Atalay, 2008).

1.2 Kuraklık Stresi ve Etkileri

Kuraklık bir stres faktörü olarak ifade edilebilir. Çünkü bitkilerde su eksikliği normal hayat fonksiyonlarını sınırlar ve bitkilerde olumsuz yaşam koşullarına sebebiyet verir. Su eksikliğinin sebep olduğu stres durumu “kuraklık stresi” olarak isimlendirilmektedir (Goor ve Barney, 1968). Bu stres bitkilerin morfolojik, fizyolojik, ekolojik, biyokimyasal ve moleküler yapılarında etkileşimlere sebep olmaktadır. Ek olarak, bitki büyümesine, verimlilik ve ürün kalitesine olumsuz etki etmektedir (Salehi-Lisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016).

Kuraklık stresinin etkileri;

Mekanik Etki: Bitki hücrelerinden net su eksikliği meydana geldiği vakit turgor kaybıyla bitkide ortaya çıkmaktadır. Hücrede hacim su kaybından dolayı azalır ve hücre duvarından plazma membranı ayrılarak sadece plazmodezmler vasıtasıyla bağlantısını devam ettirir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Metabolik Etki: Suyun, hücre içeriğinin önemli bölümünü meydana getirmesi, taşıyıcı olması, hücresel reaksiyonlar ve fonksiyonlar için çözücü role sahip olması gibi işlevsel niteliklerinden ötürü hücreden kaybı söz konusu olduğunda, olağan döngü sürmez ve metabolizma zarar görebilir. Su kaybı neticesinde; proteinlerin sahip olduğu hidrofobik ve hidrofilik amino asitlerin suyla ilişkileri zarar görür, enzimlerin ve nükleik asitlerin yıkımı ortaya çıkabilir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

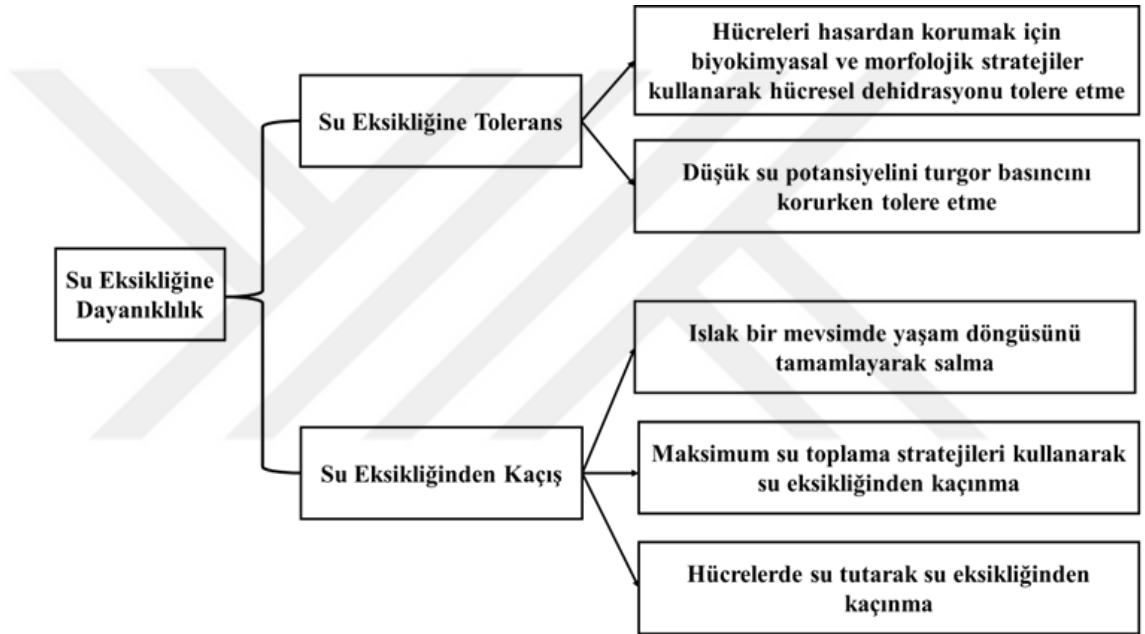
Oksidatif Etki: Suyun sınırlı olduğu zamanlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin sebebi kloroplastta ortaya çıkan ışık-klorofil ilişkisi olduğu tahmin edilmektedir. Su durumu sınırlıyken, bitki su kaybını önlemek için stomalarını kapatmak zorunda kalması durumunda, fotosentezle fiksasyon için gereken CO₂ alımını sınırlar. Böylece bitki dokusunda oksijen redüklemesi ve oksijen bileşimli serbest radikallerin oluşumu meydana gelir ve bu radikaller hücre zarlarını olumsuz etkiler (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Ayrıca, olağan metabolizma süreçlerinde ortaya çıkan reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinde görev alan antioksidan enzimler susuz ortamda aktifleşemezler ya da zarar görürler. Bu nedenle doğal olarak gerçekleşmesi gereken reaktif oksijen türlerinin temizlenmesi süreci gerçekleşmez ve bu da oksidatif strese neden olur (Doğru, 2020).

1.2.1 Bitkilerin Kuraklık Stresine Karşı Geliştirdiği Savunma Mekanizmaları

Bitkiler, kendilerini kuraklık stresinden korumak için çeşitli uyum mekanizmalarına sahiptirler (Salehi-Lisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Bitkilerin, kuraklık stresine karşı gösterdikleri tepkiler kuraklıktan kaçma, kuraklıktan sakınma, kuraklığa tolerans olarak kategorize edilmiştir (Levitt, 1972).

Kuraklıktan kaçma; toprak ve bitkide önemli su noksanlığı başlamadan önce bitkinin hayat döngüsünü tamamlayabilme kabiliyetidir (Mitra, 2001). Kuraklıktan sakınma; bitkilerin fizyolojik, morfolojik ve anatomik özellikleri yardımıyla yapısındaki su kaybını önlemesidir (Çalikoğlu, 2002). Kuraklığa tolerans; bitki su kaybına maruz kalsa bile, uzun zaman direnç gösterip, kuraklık stresinin sonraki düzeylerine dayanabilirler (Çalikoğlu, 2002; İmal, 2015).

Bray (2001), bitkilerin su eksikliğine toleranslı olabilmeleri için su eksikliğinden kaçınma veya tolerans mekanizmalarının bulunduğunu ifade etmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Su eksikliğine karşı geliştirilen kaçış ve tolerans mekanizması

1.2.2 Kuraklık Stresinin Ormanlar Üzerine Etkisi

Kuraklık stresi, ormanlar üzerinde ciddi seviyede sınırlayıcı etkilere yol açmaktadır. Kuraklık orman ağaçlarında kurumaya sebep olduğu için ormanlardaki bitki örtüsü sıklığını olumsuz etkilemektedir (Prestemon ve ark., 2016). Ülkemizde 1990'dan itibaren bazı kurak zamanlarda birçok bölgede ağaçlarda kurumalar gözlenmiştir. Örneğin; Ege'de kızılçam, Karadeniz'de sarıçam ve ladin, İç Anadolu'da ise göknar, karaçam ve sarıçam türlerinde kurumalar görülmüştür (Altun ve ark., 2002; Semerci ve ark., 2004). İç Anadolu Bölgesindeki kurumaların %37'sinin kuraklık sebebiyle ortaya çıktığı ifade edilmiştir (Semerci ve ark., 2004).

Kuraklık orman ağaçlarını, böcek, patojen salgınları ve orman yangınlarına karşı savunmasız hale getirmektedir (Kliejunas ve ark., 2009; Littell ve ark., 2016). Ayrıca bitkilerin morfolojik ve anatomik özelliklerine etki etmektedir. Bitkiler kuraklık stresinden etkilenme şekillerini yaprak boyutunda küçülme, stoma açıklığında ve miktarında d    , hücre duvarında kalınlaşma, yaprak kutikula tabakasının kalınlaşması ve iletim demetlerinin miktarındaki artış gibi değişiklikler göstermektedirler (Chernyad'ev, 2005; Jaleel ve ark., 2009). Şiddetli kuraklık stresi, fotosentezin kısıtlanmasına, fotosentetik karbon asimilasyonuna devamlı engel olunmasına, metabolizmanın zarar görmesine ve sonuçta bitkinin ölümüne bile yol açmaktadır. Stomaların kapanmasıyla beraber CO₂ asimilasyonunu ve net fotosentez de azalmaktadır (Farquhar ve Sharkey, 1982; Dubey, 1997).

Kuraklığın ilk aşamalarında, bitki daha çok suya ulaşabilmek amacıyla gövde uzamasını azaltmakta ve kök gelişimini hızlandırmaktadır ( zt rk, 2015). Bu durumda kök gelişmekte ve kökün gövdeye oranı artmaktadır ( zt rk ve Seçmen, 1992). Odunsu bitkilerde su eksikliği; tomurcuk oluşumu, yaprak ve çap büyümesi, erken yaprak dökümü ve dallanma üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle gövde büyümesinde azalmalara yol açmaktadır (Kozlowski ve Pallardy, 1997). Kuraklığın süresi uzarsa, bitki kök ve gövde gelişmesini tamamen durdurabilir (Anjum ve ark., 2011b;  zt rk, 2015).

Ya ı ların kuraklıkla azalması sonucunda akarsu ve yeraltı suları da azalmaktadır. Su kalitesi düşmektedir. Ek olarak kuraklık akarsulardaki su ilerleyişini düşürerek sedimentin yı ılmasına sebep olmaktadır (Vose ve ark, 2016). Ya ı  rejimlerinin Türkiye'de önümüzdeki 30 yıl içerisinde bir azalış olacağı beklenmektedir (T rke  ve ark., 2020). Bu yüzden kuraklığa dayanıklı orijinler ile ağaçlandırma çalışmalarının artırılması gerekmektedir. Kurak ve yarı kurak sahalarda uygulanacak ağaçlandırma çalışmaları, toprak koruma, erozyon kontrolü ve su rejiminin ayarlanmasını sağlayacaktır ( alı kan ve Boydak, 2017). Ağaçlandırma yapılacak sahalarda kuraklığa toleranslı türlerin tercih edilmesi önerilmektedir.

1.2.3 Kuraklık Stresinin Bitkilerin Temel Morfolojik (Büyüme Parametreleri) Özellikleri Üzerine Etkisi

Farklı ağaç ve çalı türlerinde kuraklık stresinin Kök Boğazı Çapı (KBÇ) ve Fidan Boyu (FB) üzerindeki olumsuz etkilerine, literatürde yapılmış birçok çalışmada rastlamak mümkündür (El Atta ve ark., 2012; Kulaç ve ark., 2015; Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023). Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde kontrol bitkilerine kıyasla bitki boyunun azaldığı, gövde gelişimlerinin de olumsuz etkilendiği birçok uygulamada tespit edilmiştir (Chartzoulakis ve Klapaki, 2000; Abdalla ve El-Khoshiban, 2007; Kurum ve ark., 2013). Çevresel etmenler tarafından kontrol edilen bitki boyu genetik bir kriter olup, kurak şartlarda bitki boyunun azaldığı belirtilmiştir (Yavaş ve Unay, 2016). Bazı meşe türlerinde stres seviyesi arttıkça KBÇ'nin ve FB'nin azaldığı ifade edilmiştir (Deligöz ve Bayar, 2018). Avusturya'nın sub-alpin zonundaki *Pinus sylvestris* ve *Picea abies* türleriyle meydana gelen konifer ormanlarında, yaz kuraklığının her iki türde de çap artımını azalttığı belirlenmiştir (Pichler ve Oberhuber, 2007). Kuraklık stresine maruz bırakılan Fıstıkçamı'nın (*Pinus pinea* L.) araştırıldığı bir çalışmada, kuraklık stresinin KBÇ, FB ve yan dal sayısına negatif yönde etki ettiği tespit edilmiştir (Gür, 2014). Defne (*Laurus nobilis* L.) türünde de kuraklık stresinin KBÇ ve FB'yi azalttığı görülmüştür (Ishimwe, 2023). Kuraklık stresine tabi tutulan Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) kuraklık stresi sonucu boy ve çap gelişiminde düşüşün ortaya çıktığı ifade edilmiştir (Yılmaz, 2019). Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde sürgün boyu ve çap artışı gibi özelliklerin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir (Wallin ve ark., 2002; Yang ve ark., 2007b). Anadolu karaçamı fidanlarında yapılan bir uygulamada, kuraklık stresi şiddeti arttıkça fidanların çap ve boy gelişimlerinin yavaşladığı tespit edilmiştir (Demir, 2019). Kuraklık stresi uygulanan değişik orijinli sarıçam fidanları 3 farklı sulama rejimine tabi tutulmuş, sulama miktarı azaldıkça fidanların boy ve çaplarının da azaldığı belirlenmiştir (Kulaç, 2010).

Kurak koşullar altında, köklerde ortaya çıkan morfolojik farklılıklar toprakta olan suyu daha fazla bir güçle absorbe etmek içindir. Kuraklık stresi karşısında başlangıçta kök gelişimi hız kazanır ve kökün gövdeye oranında artış meydana gelmektedir ve fotosentez yavaşladığı için sürgün gelişimi de azalmaktadır. Kök gelişiminin artması amacıyla fotosentez ürünlerinin bir kısmı köklere taşınmaktadır (Çırak ve Esendal, 2006).

Kuraklık stresi altında köklerde mantara benzeyen kalın bir doku tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka alttaki canlı hücreleri, kurak ve sıcak toprağın etkisinden muhafaza edebilmektedir. Kuraklık halinde toprak üstü organlardan köklere çözünebilir karbonhidratlar iletilir ve köklerin ozmotik basınçları yükselerek su emme güçleri de artar (Çırak ve Esendal, 2006). Fakat, kuraklık uzun sürerse bitki hem gövde hem de kök gelişimini durdurabilir (Anjum ve ark., 2011b). Farklı bitki türlerindeki yapılan çoğu çalışmalarda, kuraklık stresi kök büyümesini negatif açıdan etkilediği ifade edilmiştir (Sharp ve ark., 1988; Baskin ve ark., 1999; Chartzoulakis ve Klapaki, 2000; Kage, 2004; Abdalla ve El-Khoshiban, 2007; Wang ve ark., 2009; Kurum ve ark., 2013). Kuraklık stresi genotiplerde kök özelliklerini etkileyip, kuraklık stresinin şiddetine göre kök özelliklerini azaltabileceğini (Adda ve ark., 2005), kuraklık bitkilerin kök gelişimlerine engel olup, nemli toprak şartlarında kök uzunluğunda artma, kurak şartlarında azalma meydana geldiğini (Blum, 2009), kök derinliği, kök yayılımı ve yoğunluğunda genotipler arasında temel değişikliklerin olduğu (Kinyua ve ark., 2003) ifade edilmiştir. Bir yaşındaki *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur* fidanlarında 60 günlük serada yapılan kuraklık çalışmalarında, kök gelişimleri kontrol gruplarına göre azaldığı belirlenmiştir (Niemczyk ve ark., 2023). Amerikan kızılçamının 2+0, 3+0 çıplak köklü ve 1+0 tüplü fidanlarında yapılan bir araştırmada, kuraklık stresinin fidanların büyümesi ve hayatta kalma yüzdesi açısından etkilendiği tespit edilmiştir, ayrıca kuraklık stresine maruz bırakılan fidan grubu, kontrol grubuyla kıyaslandığında kuraklık stresi uygulanan grupta kök uzunluğunda azalma görüldüğü belirtilmiştir (Becker ve ark., 1987). Kuraklık stresine maruz kalan Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)'nın incelendiği bir araştırmada, kuraklık stresinin kök yüzdesine negatif yönde etki ettiği tespit edilmiştir (Gür, 2014).

1.2.4 Bitkilerin Morfolojik Özellikleri Üzerine Yükseltinin (Rakım) Etkisi

Bitkilerin tüm morfolojik, fizyolojik ve fenolojik özellikleri genetik yapı (Yiğit ve ark., 2016; Yücedağ ve ark., 2019; Özel ve ark., 2020) ile çevre koşullarının (Sevik ve ark., 2019a,b) etkisiyle farklılık göstermektedir. Bitkilerin kökenleri genetik yapıyı etkilerken, yükselti ise çevre koşullarında farklılıklar meydana getirmektedir.

Yükselti, iklimsel parametrelerden sıcaklığı etkilemekte (Ertuğrul ve ark., 2021; Kılıçoğlu ve ark., 2021), bu yüzden de bitkilerin optimum yayılış alanları, yükseltiye bağlı olarak değişmektedir (Esen ve Avcı, 2020; Ning ve ark., 2021). Birçok çalışmada görüldüğü gibi fidan morfolojik özellikleri ile yükselti ve orijin arasındaki bağlantı incelenmiştir (Gülseven ve ark., 2019).

Doğu kayınında yapılan çalışmada, FB ve KBÇ'nın yükseltiye göre değişiminin anlamlı bulunduğu; bu parametrelerden en yüksek değerlerin düşük yükseltilerde yer aldığı ve yükselti arttıkça değerlerin azaldığı ifade edilmiştir. Ağaçlandırma çalışmalarında başarı elde etmek için ilk olarak kaliteli tohum ve fidan kullanımı önem arz etmektedir. Bu çalışmada da düşük yükseltilerden elde edilen fidanların daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür (Özel ve ark., 2021c).

Artan yükseltiyle beraber hem sıcaklık hem de yağış özellikleri de farklılık göstermektedir (Esen ve Avcı, 2020; Yücedağ ve ark., 2021). Bitki gelişimine etki yapan çevre şartları arasındaki etmenlerin başında iklim parametreleri (Yiğit ve ark., 2019), sıcaklık ve yağış ön plana çıkmaktadır (Ertuğrul ve ark., 2019; Sevik ve ark., 2021). Aynı enlemde yer alan değişik yükseklikteki yerlerde deniz seviyesinden yukarıya doğru gidildikçe her 100 m'de sıcaklık kuru havada 1°C, nemli havada 0,6 °C azalmaktadır. Yüksek alanlarda gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkları daha fazladır. Ilıman iklim kuşağında yükseltinin artmasıyla beraber atmosfer sıcaklığı düşmekte ve yağış miktarı yükselmektedir (Cüce ve ark., 2020). Bu sebeple yükselti bitki örtüsü için önemli etmenlerdendir (Esen ve Avcı, 2020).

Dolayısıyla iklim değişikliğine karşı yapılacak çalışmalarda yükseltinin de göz önüne alınması önem arz etmektedir. Yine yapılan araştırmalar, küresel iklim değişikliğine göre türler için optimum yayılış alanlarının yukarı yükseltilere doğru gideceğini (Varol ve ark., 2021) ve küresel iklim değişikliği boyunca kuraklık gibi stres faktörlerinin artacağını öngörmektedir (Çetin, 2020; Özel ve ark., 2021a,b).

Bu yüzden büyük tohumlu bitkilerin yüksek rakımlara doğru kaymasında insan desteğine gereksinim duyulacaktır (Gómez-Pineda ve ark., 2020). Sonuç olarak; kayın ağaçlandırmalarında düşük yükseltilerden temin edilen orijinlerin daha yüksek yükseltilerdeki ağaçlandırma çalışmalarında öncelik verilmesi durumunda daha başarılı sonuçlar ortaya çıkabileceği beklenmektedir (Özel ve ark., 2021c).

1.3 Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.)

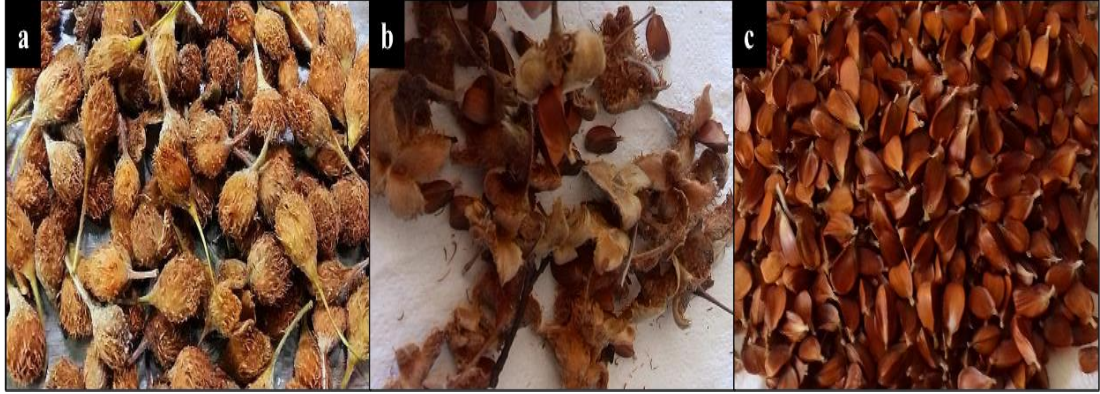
Fagaceae familyasında yer alan kayın Kuzey Yarımkürenin ılıman ve serin bölgelerinde saf veya karışık ormanlar kuran 11 türe sahiptir. Bunlar; Amerikan kayını (*Fagus grandifolia* Ehrh.), Japon mavi kayını (*Fagus japonica* Maxim.), *Fagus lucida* Rehd. Et Wils., Güney Çin kayını (*Fagus longipetiolata* Semen), Çin kayını (*Fagus engleriana* Semen), Japon kayını (*Fagus crenata* Blume), Tayvan kayını (*Fagus hayatae* Palib.), Meksika kayını (*Fagus mexicana* Martinez), Kore kayını (*Fagus multinervis* Nakai), Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) olarak sıralanabilir (Sato ve Yukawa, 2001). *Fagus* cinsinin Türkiye florasında Doğu kayını ve Avrupa kayını türleri mevcuttur. Kayın ağaçları ılıman iklim gösteren dağlık alanları sevmekle beraber, deniz ikliminin olduğu yerlerde de yayılış göstermektedirler. Çoğunlukla kuzey ve kuzey batı bakılarında bulunurlar. Gölgeye dayanıklı bir türdür. Toprak özellikleri bakımından drenajlı, eğimi yüksek, havalanma oranı iyi olan toprakları severler (Saatçioğlu, 1976a; Odabaşı ve ark., 2004; Göl ve ark., 2008). Doğu kayını ağaçları yürek kök sistemine sahiptirler ve oldukça derinlere kadar inmektedir (Yaltırık, 1993b; Güney, 2009).

1.3.1 Doğu Kayınının Botanik ve Silvikültürel Özellikleri

Doğu kayınının (*Fagus orientalis* Lipsky.) sistematigi;

- Alem: Plantae
- Bölüm: Magnoliophyta
- Sınıf: Magnoliopsida
- Takım: Fagales
- Familya: Fagaceae
- Cins: *Fagus*
- Tür: *Fagus orientalis* L. şeklindedir (Efe ve ark., 2013).

Kayın meyvelerinin dip kısımlarında kupula (meyve örtüsü) diye isimlendirilen kadeh biçiminde bir çanak vardır. Meyveleri küre şekline benzer ve 1,5-2 cm boya sahiptirler. Önceleri yeşil renkli olurken, olgunlaşınca açık kahverengiye dönüşürler. Dip tarafları 9 damarlı ince pullarla, uca doğru ise ince, ipliksi pullarla kaplıdır. Meyve içerisinde iki adet yağlı, yenebilen tohum bulunmaktadır (Mamikoğlu, 2012; Özçelik, 2013).



Şekil 3. Dogu kayınının kupulaları (a), havalandırarak açılmaları (b), tohumları (c)

Yaprakları elips veya ters yumurta şeklinde olup, kenarları tam kenarlı veya hafifçe dalgalı; üst yüzleri çıplak, alt yüzleri damarlar boyunca beyaz ipeksi tüylü; uç kısmı sivri, dip tarafı yuvarlakça veya kama şeklindedir. Yan damarlar yaprak kenarına ulaşmadan uç kısımlarından kıvrılır (Anonim, 1985; Yaltırık, 1993a). Yaprakları tazeyken açık yeşil, olgunlaştığında koyu yeşil renk alır. Yaprak sapı çok kısa, eliptik, kenarları düz ya da çok az dişlidir. Ortalama 7-10 çift yan damarı bulunmaktadır. Yapraklar sonbaharda önce sararmakta sonra kırmızı kahverengi renge dönüşmektedir (Mamikoğlu, 2012).

Kayın ağacı güçlü bir dallanma eğilimine sahiptir. İyi yetişme ortamlarında ve kapalılığın iyi olduğu meşcerelerde düz ve dolgun gövdeler yapmaktadır (Güney, 2009). Boyu 40-50 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Odunu açık pembe veya pembe beyaz renklidir ve dayanıklı olduğu için birçok alanda kullanılmaktadır. Gelişimi nemli ve serin alanlarda oldukça iyidir. Gövdesi düzgün ve açık gri renkli ve çatlaksızdır. Tomurcukları iri ve sivri uçludur, sürgünlere bir açığı yapacak şekilde sıralanmıştır (Mamikoğlu, 2012). Birinci sınıf orman ağacı olarak Türkiye ormancılığında ekonomik açıdan en çok tercih edilen türler arasındadır (Gökmen, 1973; Anonim, 1985; Yaltırık, 1993a).



Şekil 4. Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) bireyleri

Kayın yağış dağılımının dengeli, bağıl nemin yüksek olduğu ve sıcaklık ekstremlerinin fazla olmadığı bir iklimde daha iyi yaşamını sürdürmektedir. Kışı soğuk, ortalama yaz sıcaklığı 22°C'den az olan yöreler kayının sıcaklık isteğini karşılamaktadır. Gölge ağacı olduğu için şiddetli güneşlenme kabuk ve gölge yapraklarında yanmaya neden olmaktadır (Ata, 1995). Doğu kayını geç donlara ve ekstrem düşük kış soğukları karşısında duyarlıdır. Don ve kuraklıktan çok fazla etkilenmektedir. Bu yüzden gençlikte üst sipere gereksinim duymaktadır. Kayın; orta derecede nemli, madensel besin maddelerince ve humusça zengin, drenajı iyi olan topraklarda yaşamayı sever (Güney, 2009).

Kayın hem saf meşcereler meydana getirir hem de Doğu Karadeniz de Doğu ladini, Doğu Karadeniz göknarı ve sarıçamla ikili ya da çoklu karışık meşcereler ve ayrıca karaçam, Toros sediri, meşe türleri ve gürgenlerle karışık meşcerelerde de yer almaktadır (Anşin ve Özkan, 2001).

1.3.2 Doğu Kayınının Tohum ve Çimlenme Özellikleri

Doğu kayınının bol tohum yılının Pamay (1965) 4-5 yıl; Atay (1982a) bu sürenin 3-5 yıl; Saatçioğlu (1976a) Belgrad ormanında; Suner (1978) Düzce, Cide, Akkuş kayın ormanlarında yaptıkları çalışmalarda tohum yılları tekerrürünün 3-5 yılda bir; Sevimsoy (1982) Çatalca ve Demirköy'de yaptığı 6 yıllık gözlemlere göre kayında zengin tohum yıllarının 2 yılda bir; Tosun (1992) Bolu Ayıkaya, Yığılca ve Mudurnu'da yaptığı gözlemlerde kayında zengin tohum yıllarının 4 yılda bir olduğu belirlenmiştir (Anonim, 1985; Gezer, 1986).

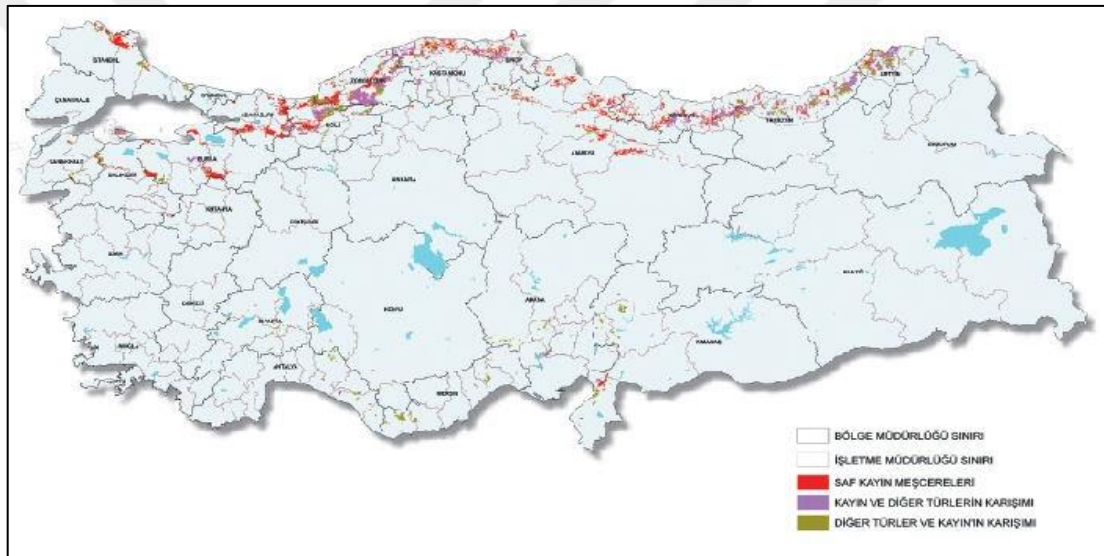
En verimli tohum verme yaşı ortalama 60'tır. Kayın tohumlarının ortalama nem oranı %25-%30 arasındadır. Tohumlar hava almayacak biçimde +4 °C soğuk hava depolarında korunarak 1 yıla kadar; sıcaklık -10 ile -15 °C arasında olacak şekilde saklandığında ise 18 ay ile 2 yıla kadar muhafaza edilebilir (Anonim, 1985; Gezer, 1986). Daha uzun süreler için -5/-15 °C sıcaklıkta hava geçirmeyen kapalı kaplarda saklanabilir (León-Lobos ve Ellis, 2002). Ayrıca tohumlar, katlama işlemi yapılmadan nemleri %6-8 civarına düşürülerek -5/-10 °C gibi sıcaklıklarda en az üç yıl muhafaza edilebilir (Yılmaz ve Dirik, 2008). Ayrıca kayın tohumları saklanabilirlik bakımından ortancıl özelliktedir (Bonner, 1990; Gosling, 1991; Derkx ve Joustra, 1997; Pukacka ve ark., 2003; Yılmaz, 2005). Ortalama 5-10 yıl çimlenme yeteneklerini koruyabilmektedirler. Saklama işleminden sonra tohumlar fidanlıkta direk sonbahar ekiminde ve doğada tohum takviyesinde kullanılabilirler veya katlama işleminden sonra ilkbaharda ekilebilirler (Yılmaz ve Özel, 2009).

Erkek ve dişi çiçekleri aynı ağaçta yer almaktadır, tozlaşma genellikle rüzgârla gerçekleşmektedir; tozlaşma olduktan sonra tohumlar ekim ayında olgunlaşıp, ekim ayının başından kasım ayının sonuna kadar olgunlaşan tohumlar dökülmeye devam eder (Anonim, 1985). Tohumlar, tohum kabuğu (pericarp), tohum gömleği (testa) ve embriyodan meydana gelir fakat besidokusu (endosperm) bulunmamaktadır. Embriyo, 2 tane çenek yaprak (kotiledon) ve embriyo eksenini içermektedir. Embriyo ekseninde de çimlenme tomurcuğu, hipokotil ve kökçük yer almaktadır ve toprak üstü (epigeik) çimlenme gerçekleştirmektedir (Yılmaz, 2005).

Çimlenen kayın tohumlarında su alımı üç aşamada oluşmaktadır. İlk aşamada tohumun hücre duvarlarının ve hücre içeriğinin su potansiyelinden meydana gelen bir etkiyle hızlı bir su alımı oluşmaktadır. İkinci aşamada bir duraklama yaşanmaktadır. Üçüncü aşamada kökçüğün uzayıp tohum gömleğini parçalamasıyla ortaya çıkan su oranı yeniden yükselmeye başlamaktadır (Bewley ve Black, 1994).

1.3.3 Doğu Kayınının Doğal Yayılış Sahası

Bulgaristan'da Balkan Dağlarının güney yamaçları, Pirin Dağları, Doğu Rodop Dağları ve Kuzey Makedonya'dan başlar ve Türkiye'de Trakya'ya kadar yayılış göstermektedir. Ganos dağlarının kuzey bakılarında, Istranca Dağları ile İstanbul'a kadar doğal yayılışı vardır (Anonim 1985; Anşin ve Özkan, 2001; Aydınöz ve İmat, 2013). Kocaeli yarımadası üzerinden Ege'ye kadar ulaşır, oradan da bütün Karadeniz sahili boyunca yayılır. İzole olarak İskenderun Körfezi'nden Amanos Dağları üzerinden Hatay ve Kahramanmaraş'a kadar; Balkanlardan başlayarak Kafkasya ve Anadolu'dan geçip Kuzey İran'a kadar ulaşabilmektedir (Anşin ve Özkan, 2001). Türkiye'deki yayılışı Şekil 5'te gösterilmiştir (OGM, 2009).



Şekil 5. Doğu kayınının (*Fagus orientalis* L.) Türkiye'deki yayılışı

Genellikle optimal rakımı 700/800-1100/1200 m'ler arasındadır ama Doğu Karadeniz Bölgesinde 1800-1900 m rakımlarda da yer alabilirler (Anşin, 1983; Atalay, 1992; Genç, 2004).

Deniz etkisinin olduğu yerlerde hem yağış miktarı hem de don etkisinin olmayışı nedeniyle deniz iklimi, Doğu kayınının isteklerini karşılamaktadır. Doğu kayını için yıllık yağış 1200 mm civarlarındadır (Saatçioğlu, 1976a; Anonim, 1985; Ertekin ve ark., 2015).

Saatçioğlu (1976a), Doğu kayınının Anadolu da yayılışını Karadeniz Bölgesi kıyı şeridi, Karadeniz Ardı, Marmara Bölgesi ve çevresi, Ege Bölgesi ve Doğu Akdeniz olarak 5 farklı bölgeye ayırmıştır:

Karadeniz kıyısı; Anadolu'nun kuzeyinde başlangıcını Karamürsel ve İzmit'ten yaparak Karadeniz'in kıyı dağları boyunca devam edip, Artvin-Borçka'ya kadar ulaşmaktadır. Nemli ortamları sevmektedir. Ortalama 700-800 m ile 1200-1300 m'ler arasında en uygun yayılışını göstermektedir (Saatçioğlu, 1976a; Anonim, 1985; Ertekin ve ark., 2015).

Karadeniz ardı; Orta Anadolu ve Doğu Anadolu stepleri ile Kuzey Karadeniz Dağları arasındadır. 1300-1500 m rakımlardan sonra görülmeye başlar (Alemdağ, 1963). Ayrıca Kelkit vadisinin güneyinde ve Kastamonu platosunda dağların yüksek kesimlerinde kuzeye bakan yamaçlarda lokal halde bulunurlar (Anşin ve Özkan, 2001).

Marmara Bölgesi; Bulgaristan sınırı yakınlarında Ahmetli köyünden başlayıp, Istranca dağlarından İstanbul'a kadar bulunmaktadır (Atay, 1982b). Güney Marmara bölümünde ise Kapıdağ-Karadağ, Uludağ-Domaniç dağları, Saman dağları ile Kaz dağlarının kuzey yamaçlarında da yer alırlar (Anşin ve Özkan, 2001).

Ege Bölgesi; Gediz, Dursunbey ve Simav mevkiilerinde Alaçam ormanlarında 1200 m yükseltiden başlayıp, Simav da 2000 m'ye kadar ulaşmaktadır (Saatçioğlu, 1976a).

Doğu Akdeniz Bölgesi; Doğu Akdeniz Bölgesinde küçük parçalar halinde, Hatay, Osmaniye ve Kahramanmaraş'ta yayılış göstermektedir (Alemdağ, 1963).

1.4 Literatür Çalışması

Kuraklık stresinin etkilerinin bitkiler açısından belli başlı belirtilerinden olan nisbi su içeriği (RWC), yaprak su potansiyeli ve terleme oranı gibi değişkenler, bitki-su ilişkilerinde araştırılmaya değer konulardır (Shao ve ark., 2008; Zlatev ve Lidon, 2012). RWC'nin düşmesi kuraklığın bitkiler açısından ilk meydana gelen göstergelerinden biridir (Farooq ve ark., 2009). Azalan RWC seviyesi, yaprak su potansiyelinde azalış olduğunu işaret etmektedir (Lisar ve ark., 2012; Bhargava ve Sawant, 2013). RWC'nin bitki su durumunu yansıtan bir gösterge olduğu ifade edilmiştir (Chaves, 1991). Yaprak su potansiyeli, bitkinin su stresine tepkisini ölçmek için bir göstergedir (Siddique ve ark., 2000). Kuraklık döneminde yaprak su potansiyeli değerlerinin düşük olduğu belirtilmiştir (Rhizopoulou ve Mitrakos, 1990).

Kuraklık stresi, relatif su içeriğini düşürmektedir (Fotelli ve ark., 2000). Relatif su miktarındaki farklılıklar kökler tarafından su alımı ve yapraklardan terleme yoluyla su kaybı ile alakalıdır (Anjum ve ark., 2011a). Yapılan bir araştırmada, bitkinin 10 günlük kuraklık stresine maruz bırakıldıktan sonra yaprak su kapasitesi kontrolle karşılaştırıldığında azaldığı ifade edilmiştir (Cai ve ark., 2005). Bitkilerin sahip oldukları su miktarı azaldıkça yaprak oransal su içeriğinde bir azalma olduğu belirtilmiştir (Kaya, 2011).

Fraxinus mandshurica Rupr. ve *Quercus mongolica* Fish. ex Ledeb. türleriyle yapılan çalışmada, 5 yaşındaki fidanlar alınıp, 29,28 lt (30,0 cm) hacime sahip saksılara dikilmiştir. 3 farklı sulama rejimi (iyi sulanan, orta sulanan, şiddetli kuraklık stresi) oluşturulmuştur. Kuraklık deneyine başlamadan 1 ay boyunca tüm fidanlar sulanmış ve sonra 10 günlük kuraklık stresi denemesi yapılmış ve her iki türde de relatif su içeriğinin azaldığı görülmüştür (Zhu ve ark., 2021).

Sapsız meşe ve Saplı meşe türlerinden toplam 60 fidanın yetiştirildiği araştırmada, temmuz ayından ağustos ayının sonuna kadar 3 ölçüm yapılmıştır. Relatif su içeriği Saplı meşede ağustosun sonunda azalmıştır, Sapsız meşede ise önemli bir farklılık görülmemiştir (Thomas ve Gausling, 2000).

İki yaşındaki yirmi tane Pırnal meşesi (*Quercus ilex* L.) fidanları alınıp, saksılara yerleştirilmiştir ve 2 ay düzenli aralıklarla bakımları yapılmıştır. Kontrol ve kuraklık stresi olmak üzere 2 tane sulama rejimi oluşturulmuştur. Kuraklık stresi denemesinden önce 20 tane bitkide sulanmıştır, sonra yarısı kontrol diğer yarısı da kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. 15. güne kadar kuraklık stresine tabi tutulan fidanlarda relatif su içeriği azalmıştır, 16. günden itibaren tekrar su verilmesi durumunda arttığı görülmüştür (Tsonev ve ark., 2014).

Makedonya meşesi fidanlarında kuraklık stresinin etkilerini incelemek için 1+0 yaşındaki fidanlara kontrol ve kuraklık olarak uygulamalar yapıp, iki aylık stres döngüsü bitiminde kuraklık stresinin relatif su içeriğini (RWC) azalttığı tespit edilmiştir (Deligöz ve Bayar, 2021).

Glycyrrhiza uralensis Fisch. türünde yapılan uygulamada, kuraklık stresi neticesinde nisbi su içeriğinde düşüş görülmüştür (Pan ve ark., 2006). Kuraklık altında RWC,

Alnus cremastogyne (Tariq ve ark., 2018) ve *Maclura pomifera* (Khaleghi ve ark., 2019) türlerinde önemli ölçüde azalmıştır.

Acer velutinum Bioss. ve *Alnus subcordata* C.A. Mey. türlerinin 1 yaşındaki fidanlarına, 12 hafta boyunca 4 farklı sulama rejimi (kontrol, hafif, orta ve şiddetli kuraklık) oluşturularak yapılan kuraklık stresi denemesi sonucunda her iki türde de relatif su içeriğinde azalma tespit edilmiştir (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023).

Avrupa kayını ve Sapsız meşe türlerinden alınan yapraklarla yapılan ölçümler neticesinde, bitki su potansiyeli değerlerinin havanın sıcak olduğu ağustos ayının başından itibaren azalmaya başladığını ifade etmişlerdir (Aranda ve ark., 2005).

Quercus vulcanica ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen relatif su içeriği analizinde her iki türde de kontrole kıyasla azalış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024).

Quercus ilex, *Quercus cerris* ve *Quercus pubescens* (Cotrozzi ve ark., 2016) yapraklarında; *Quercus cerris* ve *Quercus pubescens* (Landi ve ark., 2019) yapraklarında; *Quercus fabri*, *Quercus serrata*, *Quercus acutissima* ve *Quercus variabilis* (Xiong ve ark., 2022) yapraklarında; 14 günlük kuraklık stresinden sonra *Quercus ilex* (Echevarría-Zomeño ve ark., 2009) yapraklarında; 22 haftalık kuraklık stresinden sonra *Quercus lusitanica* (Santamarina ve ark., 2022) sürgünlerinde nisbi su içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Defne (*Laurus nobilis* L.) de yapılan çalışmada, fidanlar sulama rejimleri (kontrol (2-3 günde bir), 15. gün ve 30. gün) ile yaklaşık 4 ay boyunca kuraklık stresine tabi tutulmuş ve kuraklık stresinin su potansiyelini azalttığı görülmüştür (Ishimwe, 2023).

Quercus laceyi ve *Quercus sideroxylla* türleri ile yapılan çalışmada, her iki türün tohumları toplanıp çimlendirilmiştir. Fidanlar 1 yaşına geldikten sonra kontrol ve kuraklık olarak 2 rejime ayrılarak 7 haftalık kuraklık denemesi uygulanmıştır. 7 haftalık sürede 5 kez relatif su içeriği ölçümü yapılmıştır ve RWC *Quercus laceyi* için ilk haftadan itibaren, *Quercus sideroxylla* için ise 3. haftadan sonra azalmıştır (Poulos ve ark., 2007).

Sarıçam fidanlarında yapılan bir çalışmada, temmuz-eylül aylarında nisbi su içeriğinin düşük değerler aldığı görülmüştür (Bulut, 2008). Halep çamının kuraklık stresi karşısında dayanıklılığının incelendiği araştırmada, fidanların bir haftalık kuraklık stresine maruz bırakılıp, yapılan ölçüm sonucunda, nisbi su içeriğinin azalmaya devam etmesiyle stresin arttığı belirlenmiştir (Calamassi ve ark., 2001).

Kuraklık stresinin bitkiler üzerinde bir diğer güvenilir işareti ise klorofil içeriğindeki değişimdir. Klorofil pigmentleri, fotosentez üzerinde etkili oldukları için bitkilerin yaşam alanlarına, hava şartlarına ve antropojenik şartlara tepkisini, böylelikle bitkilerin canlılığını ve stresli koşullar karşısında direncini göstermektedir (Bakry ve ark., 2019; Zielewicz ve ark., 2020). Yapraklardaki kuraklık stresinin bir belirtisinin, kloroplastlarda bir tür bozulmaya işaret eden klorofil kaybı olduğu ifade edilmiştir (Dawood ve Sadak, 2014; Sadak, 2016).

Genel olarak, kuraklık stresi altında klorofil içeriğindeki azalma en temel konudur (Ziska ve ark., 1990, Sairam ve Saxena, 2000; Khan ve Beena, 2002; Ashraf, 2003; Hayatu ve Mukhtar, 2010; Kocaçınar ve ark., 2010; Alizadeh ve ark., 2011; Zanjani ve ark., 2012; El Atta ve ark., 2012; Kulaç ve ark., 2012; Wu ve ark., 2013; Maatallah ve ark., 2016; Yavaş ve Unay, 2016; Tariq ve ark., 2018; Guo ve ark., 2019; Sadak ve ark., 2020; Abd Elhamid ve ark., 2021; Sadak ve Bakhoun, 2022).

Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) 1 yaşındaki 8 farklı popülasyona ait tüplü fidanlarının ikinci vejetasyon döneminde 2-3 günde bir 280 ml, 3-4 günde bir 140 ml ve 3-4 günde bir 70 ml olarak 3 değişik sulama rejimi uygulanmış ve su eksikliğinin artması ile toplam klorofil içeriğinin haziran ayından eylül ayına doğru düştüğü görülmüştür (Arslan, 2017).

Kızılçam tohumlarından üretilen 2 yaşındaki fidanlara, farklı sulama rejimleri uygulanarak, en yüksek klorofil miktarının 675 mm/yıl'da görüldüğü, 225 ve 450 mm/yıl'daki fidanların toplam klorofil içeriğinde azalış olduğu belirtilmiştir (Akça ve Yazıcı, 1999).

Yaklaşık 1,3 m boyunda, 4 yaşındaki kayın fidanlarını (*Fagus sylvatica* L.) 2 sulama grubuna (kontrol ve sulanmayan) ayırarak, 36 günlük kuraklık stresi uygulaması yapılan çalışmada, yaprak alanı başına düşen klorofil içeriğinin 36. günün sonunda

stresli bitkilerde kontrol bitkilerine göre azaldığı ifade edilmiştir (Gallé ve Feller, 2007).

Avrupa kayını fidanları 25 gün boyunca, iyi sulanan (W), orta derecede kuraklığa maruz kalan (M) ve şiddetli kuraklığa maruz kalan (S) olmak üzere üç farklı sulama rejimine maruz bırakılmış, M ve S fidanlarında fotosentez hızı ve klorofil floresans parametrelerinde bir azalış olduğu tespit edilmiştir (Hájíčková ve ark., 2024). Ayrıca fotosentezin azalmasına ve büyümenin gecikmesine neden olan fotosentetik pigmentlerin parçalanması, kuraklık stresinin bilinen bir işareti olduğu belirtilmiştir (Sadak ve Ramadan, 2021 ; Abdalla ve ark., 2022).

Pšidová ve ark. (2015), yaptıkları 10 gün süreli kuraklık stresi uygulamasında, 3 farklı bölgeden (Divín-warm-530 m, Dobšiná-moderately warm-625 m, Pohorelá-cool-1,250 m) aldıkları Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) fidelerinde su açığına en fazla direnç gösteren, daha kurak ve alçak rakımlı Divín'den alınan fidelerin olduğu belirtilmiştir.

Tüylü meşe (*Quercus pubescens*) ile yapılan kuraklık stresi çalışmasında, klorofil miktarının düştüğü tespit edilmiştir (Gallé ve ark., 2007). Kuraklık stresine maruz bırakılan Batı Çin'in iki farklı bölgesindeki (ılıman ve kurak) aynı tür kavakların (*Populus przewalskii* Maximowicz) sera koşullarında üretilen fidanlarına 3 değişik sulama rejimi (%100, %50 ve %25 tarla kapasitesi) uygulanmış ve kuraklığın klorofil pigment içeriğini düşürdüğü tespit edilmiştir (Lei ve ark., 2006).

Acer velutinum Bioss. ve *Alnus subcordata* C.A. Mey. türlerinin 1 yaşındaki fidanları 12 hafta boyunca 4 sulama rejimi (kontrol, hafif, orta ve şiddetli kuraklık) oluşturularak yapılan kuraklık stresi denemesi sonucunda, her iki türde de toplam klorofil içeriğinde azalma belirlenmiştir (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023).

Sarıçam (*Pinus sylvestris*) da yapılan araştırmada, mayıs-temmuz arasındaki büyüme döneminde tüm sulama rejimlerinde, klorofil içeriğinin azaldığı belirtilmiştir (Kulaç, 2010).

Picea asperata Mastters fidanlarının tarla kapasitesi (%100 ve %30) olan 2 farklı sulama rejimi ile iki değişik ışık sistemi kullandığı (%100 fazla ışıklı ve %15 az ışıklı)

çalışmada, kuvvetli kuraklık stresinin klorofil miktarını düşürdüğü ifade edilmiştir (Yang ve ark., 2007a.) Kavak bitkisinde yapılan araştırmada, kuraklık stresinin klorofil a/b oranında düşüşe neden olduğunu görülmüştür (Yin ve ark., 2009).

Quercus ilex, *Quercus coccifera*, *Pinus halepensis* ve *Juniperus phoenicea* kuraklığa dayanıklılığını belirlemek için klorofil içeriklerinin araştırıldığı çalışma sonucunda, yazın klorofil içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Baquedano and Castillo, 2007). Mango (*Mangifera indica* L.) türünde yapılan çalışmada, klorofil miktarının kuraklık stresin şiddetlendiği aylarda azaldığı belirlenmiştir (Damour ve ark., 2009).

Abies fraseri (Pursh) Poir. fidanlarında yapılan kuraklık stresi çalışmasında, fotosentetik pigmentlerin büyüme dönemi ortasında (14 Temmuz) düştüğü ve dönem bitimine doğru (25 Ağustos) yükseldiği görülmüştür (Kulaç ve ark., 2012).

Kuraklığın klorofil sentezinin hızını kaybetmesine ve yapraklardaki klorofil içeriğinin düşüşüne sebep olduğu ifade edilmiştir (Ramanjulu ve ark.,1998; Singer ve ark., 2002). Ek olarak, kuraklık stresinin birçok türde fotosentetik pigment içeriğinin düşüşüne sebep olduğu belirtilmektedir (Thimmanaik ve ark., 2002, Parida ve ark., 2007; Guerfel ve ark., 2009; Nikolaeva ve ark., 2010).

Kasnak meşesi ve Boz pırnal meşesi türleri üzerine yapılan bir araştırmada, belli süre (1, 2 ve 4 hafta) çalışılan kuraklık stresi neticesinde klorofil içeriklerinin düştüğü belirlenmiştir (Özden, 2009).

Quercus vulcanica ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen toplam klorofil içeriği her iki türde de kontrole kıyasla azalış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024).

Klorofil floresansı bitkilerin stres ortamına ne zaman maruz kaldıklarını değerlendirmek için basit ve hızlı bir yoldur (Henriques, 2009). Klorofil floresans analizlerinde fotosentetik aktivitenin ölçülmesinde faydalanan ve fotosentetik verimliliğini gösteren temel değişken Fv/Fm oranıdır. Bu oran PSII (Fotosistem II) de emilen ışığın en yüksek verimidir ve bu değerin stres durumunda düştüğü bilinmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Ritchie, 2006).

Fidan gelişim evrelerine göre klorofil floresans verim değerleri (Fv/Fm) ikinci vejetasyon periyodu başlarında en az düzeyde, temmuz- haziran aylarında en yüksek düzeye çıkmaktadır. Yavaşlama ve odunlaşma zamanlarında değerlerde azalış görülmektedir. Tüplü sedir fidanı üzerine yapılan bu araştırmada; Fv/Fm değerleri yüksek değerlere sahip olup, ortalama 0,715 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, fidanların negatif bir abiotik veya biotik stres etmenine tabi tutulmadığını ifade etmektedir (Ayan ve ark., 2022). Yapılan çalışmalar Fv/Fm değerlerinin şiddetli kuraklık stresi altında azaldığını göstermektedir (Ögren ve Oquist, 1985; Ögren, 1990; Epron ve Dreyer, 1992; Dreyer ve ark., 1992; Angelopoulos ve ark., 1996; Bigras, 2005).

Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) farklı orijinlere sahip fidanlarda yapılan çalışmada, fidanlara farklı sulama sistemleri (her gün, 5 günde bir, 10 günde bir) uygulanmıştır ve Fv/Fm değerlerini en az 0,702 en çok 0,836 olarak belirlenmiştir (Demir, 2019).

Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) 1 yaşındaki tüplü fidanlarının ikinci vejetasyon döneminde 2-3 günde bir 280 ml, 3-4 günde bir 140 ml ve 3-4 günde bir 70 ml olan sulama rejimleri uygulanmış; sulama rejimleri ve orijinler arasında Fv/Fm açısından bir farklılık olduğu ve haziran ayından eylül ayına kadar yaptığı ölçümlerde su eksikliği ile kuraklık stresi arttıkça Fv/Fm'nin düştüğü görülmüştür (Arslan, 2017). Mango (*Mangifera indica* L.) türünde yapılan çalışmada ise Fv/Fm'nin kuraklık stresin şiddetlendiği aylarda azaldığı tespit edilmiştir (Damour ve ark., 2009).

Gallé ve Feller (2007), yaptıkları bir araştırmada 4 yaşında, yaklaşık 1,3 m boyunda Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) fidanları incelenmiştir. İki grup (iyi sulanan (kontrol fidanları), sulanmayan (stres fidanları) oluşturulmuştur. Uygulama başlayıncaya kadar tüm fidanlar sulanmıştır. Kontrol bitkileri her 2-3 günde bir sürekli olarak sulanmaya devam ederken, sulanmayan (stres fidanlar) ise 36 gün susuz bırakılmıştır. Ardından yine sulamaya devam edilmiştir. Kontrol yapraklarındaki klorofil floresansı (Fv/Fm) deneme boyunca 0,7'nin üzerinde kalmıştır, öğleden sonra yapılan ölçümlerde öğleden önce yapılan ölçümlere göre biraz daha düşük değerler ölçülmüştür. 14 gün su kesildikten sonra strese giren kayın yapraklarında sabah Fv/Fm değerlerinin 0,65'e düştüğü, öğleden sonra değerlerinin ise 0,6'nın altına düştüğü gözlenmiştir. Stres altındaki bitkilerin Fv/Fm değerleri, yeniden sulamadan sonraki 2 hafta içinde

kademeli olarak artmıştır ve daha sonra kontrol bitkilerinin değerlerine yakın kalmıştır. Kuraklık periyodu sonunda ve yeniden sulama sonrasında elde edilen Fv/Fm oranının şafak öncesi değerleri, stres altındaki bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha düşük olup sırasıyla ortalama 0,71 ve 0,80 civarında görülmüştür.

Quercus laceyi ve *Quercus sideroxyla* türleri ile yapılan çalışmada, her iki türün tohumları toplanıp çimlendirilmiştir. Fidanlar 1 yaşına geldikten sonra kontrol ve kuraklık olarak 2 rejime ayrılarak 7 haftalık kuraklık denemesi uygulanmıştır. 7 haftalık sürede 5 kez klorofil floresansı (Fv/Fm) ölçümü yapılmıştır ve Fv /Fm de ilk olarak 6. haftada *Quercus sideroxyla*'da düşerken, *Quercus laceyi* için ise ancak 7. haftaya azalmıştır (Poulos ve ark., 2007).

Dört yaşındaki Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) fidanlarında yapılan kuraklık çalışmalarında, Fv/Fm oranı, kuraklık stresi altında azaldığı belirtilmiştir (Jamnická ve ark., 2013).

Fv/Fm oranının 33 günlük kuraklık çalışmasında kontrole kıyasla azaldığı; 14 gün boyunca tekrar sulama yapıldıktan sonra, düşük ve orta kuraklık stresi altındaki Fv/Fm oranının neredeyse kontrol seviyesine geri dönebilirken, yoğun kuraklık stresi altındaki Fv/Fm oranının ise kontrolden önemli ölçüde azaldığı görülmüştür (Wang ve ark., 2018).

Bir yaşındaki *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur* fidanlarında altmış günlük serada yapılan kuraklık çalışmalarında, *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur* Fv/Fm oranı kontrol değeri 0,8 civarında olup kuraklık stresi altında yaklaşık 0 değerine kadar, *Pinus sylvestris*, *Picea abies* 0,8 civarından 0,3 değerine kadar düşmüştür (Niemczyk ve ark., 2023).

Fotosentetik özelliklerin intra-spesifik (tür içi) uygulamalarda hava sıcaklığına ve toprak su içeriğine tepkileri günlük hava sıcaklığındaki artışla birlikte Avrupa kayınının (*Fagus sylvatica*) Fv/Fm oranında düşüş; günlük toprak su içeriğindeki azalma ile Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) ve Tüylü meşe (*Quercus pubescens*) de Fv/Fm oranında önemli bir azalış olduğu ifade edilmiştir (Didion-Gency ve ark., 2022).

Kuraklık, aşırı yüksek ve düşük sıcaklıklar gibi biyotik ve abiyotik stres faktörleri, hücresel yapılarda hasarlara neden olan reaktif oksijen türlerinin (süperoksit radikali (O_2^-), hidroksil radikali (OH^-), hidrojen peroksit (H_2O_2)) hücre içindeki miktarının hızla artmasına neden olmaktadır (Bhattacharjee, 2005). Çünkü, reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinde görev alan antioksidan enzimler susuz ortamda aktifleşemezler ya da zarar görmektedirler. Bu nedenle doğal olarak gerçekleşmesi gereken reaktif oksijen türlerinin temizlenmesi süreci gerçekleşemez ve bu durum da oksidatif strese yol açmaktadır (Doğru, 2020). Hidrojen peroksit (H_2O_2), oksidatif stresle beraber meydana gelen reaktif oksijen türlerinden bir tanesidir (Özdamar ve ark., 2016). Oksidatif stres ikincil bir stres olarak belirtilir ve hücrelerde oksidatif hasar meydana getirmektedir (Salehi-Lisar ve Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Ağır stres şartları nedeniyle ve metabolizma hareketleri esnasında metabolizmada fazlaca yığılan H_2O_2 içeriğinin temizlenememesi, H_2O_2 düzeylerindeki artışa yol açmaktadır (Hung ve ark., 2005; Nounjan ve ark., 2012; Sofo ve ark., 2015).

Kuraklık stresi altında H_2O_2 içeriğinin arttığını ifade edilmiştir (Sairam ve ark., 1998; Sairam ve Srivastava, 2001; Khanna-Chopra ve Selote, 2007, Hasanuzzaman ve ark., 2014; Wutipraditkul ve ark., 2015; Çetin, 2018).

Quercus vulcanica ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen H_2O_2 içeriğinde her iki türde de kontrole kıyasla artış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024).

Quercus ilex, *Quercus pubescens* ve *Quercus robur*'un (Pellegrini ve ark., 2019) ve *Quercus pubescens*'in (Landi ve ark., 2019) yapraklarında kuraklık stresi altında H_2O_2 içeriğinde artış tespit edilmiştir.

Cevizin (*Juglans regia* L.) incelendiği çalışmada, 5-6 yapraklı ceviz fidanlarına kuraklık stresi uygulamaları 6 hafta sürdükten sonra, H_2O_2 analizi yapılmıştır ve sonuçlara göre, H_2O_2 içeriği tüm stres uygulamalarında yüksek olduğu tespit edilmiştir (Turfan, 2016).

Su noksanlığı hidroksil radikalleri ($\text{OH}^\cdot$) ve süperoksit radikali ($\text{O}_2^\cdot$) gibi farklı reaktif oksijen türlerini (ROT) meydana getirmektedir (Güneri Bağcı, 2010). Kuraklık stresiyle beraber yükselen ($\text{O}_2^\cdot$) üretim hızı lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doygunluğuna ve sonuçta membranların tamamıyla hasarlı olmasına yol açmaktadır (Sgherri ve ark., 1996). ROT, hücrede membran lipidleri, nükleik asitleri, proteinleri ve klorofilleri gibi makro molekülleri olumsuz yönde etkilemektedir. Hücre membranı zararına sebep olan lipid peroksidasyonu, bir takım tepkime basamağı neticesinde malondialdehit (MDA) ürününü ortaya çıkarmaktadır (Kacar ve ark. 2006).

Malondialdehit (MDA), hücrelerde çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunun son ürünüdür ve lipid peroksidasyonunun bir indeksidir (Hodges ve ark., 1999; Gawel ve ark., 2004). Bitki hücrelerinde lipid peroksidasyonunun farklı biyotik ve abiyotik stresler altında, hücresel zararın temel sebeplerinden olduğu belirtilmiştir (Yu ve ark., 2017).

Yaprak yapısındaki MDA seviyesinin kuraklıkla beraber yükseldiği belirtilmiştir (Sairam ve ark., 1998; Büyük, 2014; Çetin, 2018). Yapılan bir çalışmada, kuraklık stresi altındaki bitkilerde serbest oksijen türlerinin artması sonucu, membran yapısının zarar gördüğü ifade edilmiştir ve membran fosfolipitlerindeki çoklu doymamış lipidlerin yapısının hasar görmesiyle meydana gelen MDA; tüm türlerin kök ve yaprak dokularında yükseldiği tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2015).

Quercus vulcanica ve *Quercus aucheri* türlerinin 1, 2 ve 4 haftalık uygulanan kuraklık çalışmasında MDA içeriği *Quercus vulcanica*'nın yapraklarında 1 haftalık sürede az, 4 haftalık sürede ise çok olduğu, gövdelerinde ise her kuraklık grubunda arttığı; *Quercus aucheri*'de ise yaprak ve gövdelerinde tüm gruplarda fazla olduğu belirtilmiştir (Özden, 2009).

Altı yaşındaki *Quercus robur* L. ve *Carpinus betulus* L. fidanlarında nisan-eylül arasında 2 sulama rejimi (kontrol, sulanmayan) oluşturularak yapılan kuraklık çalışmasında sulanmayan gruptaki fidanlarda kontrole göre MDA seviyesinde artış görülmüştür (Stojnić ve ark., 2016).

Quercus ilex, *Quercus pubescens* ve *Quercus robur*'un (Pellegrini ve ark., 2019) yapraklarında; *Quercus ilex*, *Quercus cerris*, *Quercus pubescens*'in (Cotrozzi ve ark.,

2016) yapraklarında; *Quercus cerris* (Cotrozzi ve ark., 2017) yapraklarında; *Quercus ilex*'in (Simova-Stoilova ve ark., 2018) kotiledonlarında ve *Quercus serrata*, *Quercus acutissima* ve *Quercus variabilis* yapraklarında (Xiong ve ark., 2022) kuraklık stresi altında MDA seviyesinde artış tespit edilmiştir. *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. bitkisindeki araştırmada, MDA'nın 96 saatlik kuraklık stresi neticesinde azaldığı, lakin süreyle beraber arttığı görülmüştür (Pan ve ark., 2006).

Quercus vulcanica ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen MDA seviyesi *Quercus vulcanica* da 1. ve 2. haftada kontrole kıyasla bir azalış, 4. haftada ise artış; *Quercus aucheri* ise 1, 2 ve 4, haftalardaki ölçümlerde ise kontrole kıyasla artış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024).

Toros sedirinde fidan kalite sınıflarının oluşturulmasında boy ve kök boğaz çapı değerleri kullanılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre fidanlar 3 farklı kök boğaz çapı ve 3 farklı fidan boyu ile oluşturulan 9 kalite sınıfına ayrılmıştır. 5 yıllık arazi denemelerinden elde edilen sonuçlara göre hem boy hem de kök boğaz çapı kalite sınıflarına ait yaşama yüzdesi değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı fakat kalın çaplı fidanların daha iyi boylandıkları belirtilmektedir (Semerci, 2005a).

Adi gürgen fidanlarının (Atar ve ark., 2018), FB ve KBC'lerinin popülasyonlara göre önemli farklılıklar gösterdiğini, benzer tespitleri Atar ve Turna (2018), kestenede; Hatipoğlu (2013), Doğu gürgeninde; Atar (2021), meşede; Yahyaoğlu ve ark. (2012), fıstıkçamında; Güney (2009), Doğu kayınında yaptıkları çalışmalarda görülmüştür.

Farklı orijinli Doğu kayını fidanları üzerine yapılan çalışmada, 2+0 yaşında fidan boyları 25,6-29,6 cm arasında ve kök boğazı çaplarını 6,0-6,6 mm arasında olduğu tespit edilmiştir (Selek, 1995).

Yalancı akasyaya ait 18 farklı orijinde yapılan çalışmada, FB-KBC kalite sınıfları oluşturulmuş, ayrıca aynı türün değişik orijinleri arasında, morfolojik özellikler bakımından farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Turna, 1996).

İki okalıptüs klonunun su eksikliği karşısındaki metabolik cevapları incelenmiş ve kuraklık karşısındaki hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Su eksikliğin morfolojik olarak büyümeyi azalttığı ifade edilmiştir (Shvaleva ve ark., 2006).

Kuraklık stresi altındaki altı Sapsız meşe popülasyonu arasındaki fenotipik farklılıkların incelendiği araştırmada, hem popülasyon hem de sulama rejimine bağlı olarak fidanların morfolojik özellikleri arasında önemli farklılıkların olduğu ortaya koyulmuştur (Bruschi, 2010).

Acer velutinum Bioss. ve *Alnus subcordata* C.A. Mey. türlerinin 1 yaşındaki fidanlarını 12 hafta boyunca izleme sonucunda her iki türünde FB ve KBÇ bakımından anlamlı farklılıklar ortaya çıkardığı belirtilmiştir (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023).

Fidan özelliklerine bağlantılı popülasyonlar içi ve arası varyasyonu açığa çıkaran pek çok araştırma yapılmıştır. Örneğin; 14 değişik orijinli serada yetiştirilen Avrupa kayını fidanlarında farklı su içeriklerine göre FB ve KBÇ'nin orijinler bakımından farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir (Nielsen ve Jorgensen, 2003). *Fagus sylvatica* L., *Acer platanoides* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. ve *Fraxinus excelsior* L. değişik orijinlere ait fidanlarında FB açısından orijinler arasında farklılıklar tespit edilmiştir (Baliuckas ve ark., 1999).

Dirik (1993), fidan kalitesini belirlemede kriterlerden bir tanesinin FB olduğunu, Coşgun ve ark. (2008) ile Semerci (2002) de FB'nin kalite göstergesi olarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Doğu kayınının incelendiği çalışmada, FB ve KBÇ'nin yükseltiye göre değişiminin anlamlı bulunduğu; FB ve KBÇ bakımından en yüksek değerlerin düşük yükseltilerde bulunduğu ve yükselti arttıkça değerlerin azaldığı belirtilmiştir (Gülseven ve ark., 2019).

Tefen orijinli 2+0 yaşlı çıplak köklü Doğu kayını fidanları ekim yastıklarında 5 tekrarlı ve her tekrarda 30 adet fidan toplamda 150 adet fidan üzerinde fidan boyları ve kök boğazı çapları ölçülmüştür. Ekim yastıkları arasında anlamlı farklılıklar görülmüştür (Atik, 2013).

Doğu kayınının, farklı popülasyonlara ve farklı yükseltilere (510 m ile 1,515 m arasında) bağlı olarak FB ve KBÇ'nın orijinler arasında önemli farklılıklar gösterdiği; fidan boyu ve kök boğazı çapı bakımından en yüksek değere sahip olan orijinin 850 m yükseltide, en düşük değere sahip orijinin ise 1515 m yükseltide bulunduğu tespit edilmiştir (Gülseven ve ark., 2019).

Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) fidanlarına 2. vejetasyon dönemi sonunda yapılan morfolojik ölçümler sonucunda, fidanların ortalama fidan boyu 18,57 cm, kök boğazı çapı 4,9 mm olarak ifade edilmiştir (Ayan ve ark., 2022).

Merkez Almanya ve Güneydoğu Polonya'dan temin edilen Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) tohumları çimlendirildikten yaklaşık 14 hafta sonra fidanların kök alanları ölçülmüştür ve bölgeler arasında farklılıklar tespit edilmiştir (Rose ve ark., 2009).

Meier ve Leuschner (2008), 4 farklı orijinli (Ziegelroda, Bleicherode, Westerhofen, Dassel) 2 yaşındaki Avrupa kayını fidanlarında kök hacmi, kök alanı ve kök uzunluğunu belirlemek için yaptıkları çalışmada, orijinler arasında farklılık olduğunu ifade etmişlerdir.

Ji ve ark. (2020), 2 yaşındaki *Juglans mandshurica*, *Fraxinus mandshurica* ve *Phellodendron amurense* türleri üzerine yaptıkları çalışmada, spesifik kök alanı ve spesifik kök uzunluğu bakımından türler arasında morfolojik bakımından farklılıklar olduğu belirtilmiştir.

Celtis australis L., *Cistus ladanifer* L., *Fraxinus angustifolia*, *Nerium zakkum* L., *Olea europaea* L. var. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus* L., *Pinus pinea* L., *Quercus ilex* L., *Quercus suber* L., *Rhamnus alaternus* L., 1+0 yaşındaki fidanları temin edildikten 6 ay sonra yapılan morfolojik ölçümler sonucunda türler arasında morfolojik açıdan farklılıklar olduğu ifade edilmiştir (Olmo ve ark., 2014).

Quercus ilex, *Quercus trojana* ve *Quercus virgiliana* türlerinin tomurcukların toprak üzerine çıkmasından 2 ay sonra fidan boyları ölçülmüş ve türler arasında farklılıklar tespit edilmiş, fidan boyları *Quercus virgiliana* için 8,50 cm, *Quercus ilex* için 13,82 cm ve *Quercus trojana* 11,79 cm olarak belirlenmiştir; 160 gün sonra bir daha yapılan

ölçümlerde toplam kök alanı (cm^3), toplam kök uzunlukları (m) bakımından da türler arasında farklılıklar belirlenmiştir (Chiatante ve ark., 2015).

Quercus alba ve *Quercus rubra* türlerinden 1 yaşındaki fidanlar alınıp, kaplara dikilmiştir. 15 ay sonra yapılan ölçümler sonucunda türler arasında spesifik kök alanı (g.cm^{-2}) ve spesifik kök uzunlukları (m.g^{-1}) arasında önemli farklılıklar görülmüştür (Suseela ve ark., 2020).

Beş yaşındaki *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides* ve *Prunus avium*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Carpinus betulus* fidanlarında Nisan 2014'te sulama rejimleri (kuraklık, kontrol) başlatılan uygulamada 2015 Eylül de sökülen fidanlarda spesifik kök uzunluğu, spesifik kök alanı ölçümleri yapılmış ve *Tilia cordata* hariç diğer türlerde spesifik kök uzunluğu ve spesifik kök alanı kuraklıkla beraber düştüğü görülmüştür (Liese ve ark., 2019).

2 MATERYAL VE YÖNTEM

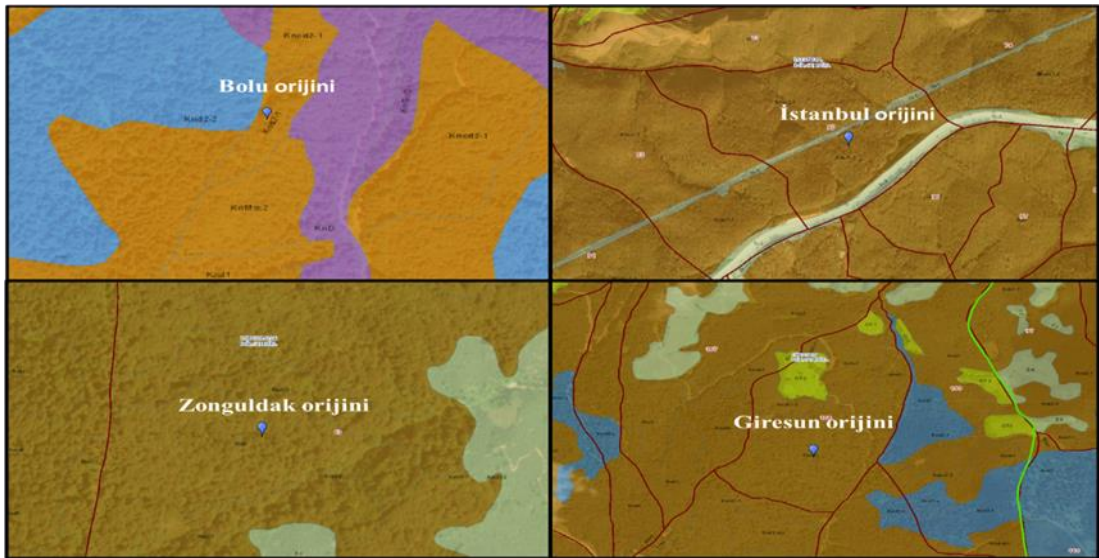
2.1 Materyal

2.1.1 Materyal Temini

Çalışmamız için gerekli olan Doğu kayını orijinleri, kayının ülkemizde doğal yayılış gösterdiği bölgeler arasında yer alan Bolu, İstanbul, Zonguldak ve Giresun'dan 2021 yılı Eylül-Ekim aylarında ilgili bölge müdürlükleri vasıtasıyla temin edilmiştir. Doğu kayını orijinlerinin Türkiye haritasındaki konumları Şekil 6'da, bölgesel konumları Şekil 7'de ve orijinlere ilişkin bilgiler ise Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Doğu kayını orijinlerinin Türkiye haritasındaki konumları



Şekil 7. Doğu kayını orijinlerinin bölgesel konumu

Tablo 1. Orijinlere ait başlıca bilgiler

Koordinat bilgileri	Orijinler			
	Bolu	İstanbul	Zonguldak	Giresun
Orm. Böl. Müd.	Bolu	İstanbul	Zonguldak	Giresun
Orm. İşlet. Müd.	Yığılca	Kanlıca	Alaplı	Ordu
Orm. İşlet. Şef.	Karadere	Ömerli	Bendere	Akkuş
Enlem (K)	40° 52' 58,17''	41° 05' 40,09''	41° 04' 48,14''	40° 47' 13,25''
Boylam (D)	31° 24' 40,51''	29° 22' 47,33''	31° 34' 04,42''	37° 02' 33,35''
Meşcere tipi	Knd2	Knbc3	Knd3	Kndcd3
Bölme	79	93	63	168
Rakım (m)	875	180	500	1290
Eğim (%)	35	14	34	25
Bakı	Doğu	Kuzey	Güneydoğu	Doğu

Kayın tohumlarının çimlenme yeteneği ve canlılığının tespiti hakkında bilgi almak için ilk kesme testi uygulanmaktadır (ISTA, 1991). Tohum hayatietini belirlemede kullanılan kesme testinde, tohumlar maket bıçağıyla kesilmiştir (Ürgenç, 1965). Her bir orijin için 100 tane tohum kullanılarak test uygulanmıştır. Tohumların yaşama yeteneği, tohum içinin rengine ve endospermin durumuna bakılarak belirlenmiştir. İyi tohumlarda beslenme dokusunun taze olması, tohum kabuğunu doldurması, sağlıklı bir renk göstermesi ve yeterli miktarda suyu içermesi gibi özellikleri dikkate alınarak tohumların iyi ve kötü olanları tespit edilmiştir. Yapılan test sonucunda, Bolu orijini %76, İstanbul orijini %85, Zonguldak orijini %81, Giresun orijini %79 tohum canlılık oranlarına sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 8. Tohumların kesme yöntemi ile tohum canlılığının belirlenmesi

Kayın tohumlarının çimlenme yeteneği ve canlılığı hakkında bilgi almak için ikinci yöntem olarak yüzdürme deneyi yapılmıştır. Tohumlar suya atılarak yüzdürme deneyi ile çimlenme yeteneğini kaybetmiş boş (sağır) ve çürük olanları ayrılmıştır. Dolu tohumlar buzdolabında (+4 °C) saklanmıştır.



Şekil 9. Boş ve dolu tohumların suda yüzdürme yöntemi ile belirlenmesi

2.1.2 Fidanların Yetiştirilmesi ve Deney tasarımı

Toprak karışımı orman toprağı, perlit, torf ve hayvan gübresi (5:1:1:1) olacak şekilde Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakóltesi Serasında hazırlanmıştır. Tohumlar polietilen tüplü torbalara ve 2-3 cm ekim derinliğine göre ekilmiştir ve sulama işlemleri düzenli aralıklarla yapılmıştır.



Şekil 10. Tohumların polietilen tüplere ekimi

Doğu kayını orijinlerinin 2. büyüme dönemlerine kadar bir zarar görmemeleri için tüm koruma ve bakım önlemleri oluşturulmuştur. Sera ortamında yağmurlama sulama kullanılmıştır. Otlar fazla büyümeden, topraktan çıkartılabilecek durumda iken elle ve kökünden el aletleriyle alınmıştır. Bu süre içerisinde her bir orijinden ortalama 120'şer adet fidan yetiştirilmiştir. Kuraklık stresi uygulaması için kullanılacak fidan sayıları, her bir orijinden 120'şer adet fidan (her sulama rejimine eşit sayıda fidan) olacak şekilde belirlenmiştir.

Sulama rejimleri (günde 1 sulanan (kontrol), 2 günde 1 sulanan, hiç sulanmayan) her bir orijin için oluşturulmuştur. 2023 yılının temmuz ayından itibaren 2. büyüme dönemindeki Doğu kayını fidanlarına kuraklık stresi uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Deneysel çalışma 15 gün sürmüştür. 4 farklı orijinli 2. büyüme dönemindeki fidanlar 3 ayrı sulama rejimine göre sıralanmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Temel Morfolojik Özelliklerin (Büyüme Parametreleri) Belirlenmesi

Fidanlarda ölçülecek morfolojik ölçümlerin orijinlere bağlı değişimleri, hangi orijinli fidanların kök ve gövde gelişimlerinin iyi olduğu ve yapılacak diğer ölçümlerle beraber kuraklık stresine karşı orijinlerin gösterdikleri tepkiler tespit edilmiştir. Fidanların KBÇ (mm) dijital kumpasla, FB (cm) metreyle ölçülmüştür. Yan dal sayısı fidanlardaki yan dalların sayısını belirtmektedir.

Kök Boğazı Çapı: Gövdeye en yakın kökün hemen üzerindeki ölçülen çaptır (0,1 mm hassasiyetinde) (Ayıntaplı, 1995).

Fidan Boyu: En üstteki kökün hemen üstü ile tepe tomurcuğunun ucu arasındaki mesafedir (0,1 cm hassasiyetinde) (Ayıntaplı, 1995).



Şekil 11. Kumpasla kök boğazı çapının (mm) ölçülmesi

Kök alanı, kök hacmi ve kök uzunluğu WinRHIZO root-scanning software sistemiyle ölçülmüştür. Fidanlardan kök numuneleri alınacağı günden 2–3 gün önce sulama yapılarak toprak yumuşatılmıştır. Fidan köklerindeki zararı en aza indirecek şekilde kök sökümü elle uygulanmıştır. Kök ölçümlerine başlamadan önce fidanlar tüplerinden dikkatlice çıkartılarak, kılcal köklerin hasar görmemesi sağlanmış, kökler temizlenerek ayıklanmış ve kilitli poşetlerle laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 12. Köklerin fidan gövdesinden ayrılıp, kök değerlerinin ölçülmesi

WinRHIZO root-scanning software sistemi ile ölçümler yapılmıştır. Kökler toprak ve yabancı maddelerden yıkanarak ayrılmıştır. Temizlenmiş kökler su geçirmez tepsi ile tarayıcıya yerleştirilmiştir. Kökler üst üste gelebilir ve rastgele dağıtılmalarına gerek yoktur. Sistem taranan görüntüleri analiz ederek kök çaplarına göre özel renklendirme yapmıştır; kök toplam uzunluğu, kök hacmi ve kök alanı gibi morfolojik veriler elde edilmiştir.

2.2.2 Temel Stres Parametrelerinin (Fizyolojik Özelliklerin) Belirlenmesi

2.2.2.1 Nisbi Su İçeriği (RWC)

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlerden yaprak numuneleri alınarak kilitli poşetlere konulup laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen örnekler zaman geçirmeden taze ağırlıklarını tespit etmek için tartılmıştır. Sonra yapraklar kapalı petriler içerisinde 16 saat saf suda 4 °C’de bekletilip, devamında yapraklardaki yüzeyi kurutma kağıdı ile silinip tartılarak yaprak turgit ağırlıkları tespit edilmiştir. Yaprakların kuru ağırlıklarını tespit etmek için alınmış örnekler 70 °C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra tartılarak yaprak kuru ağırlık ölçümleri yapılmıştır ve aşağıda verilen Smart ve Bingham (1974) Formül (1) kullanılarak örneklerin nisbi su içerikleri hesaplanmıştır.

$$\text{Nisbi Su İçeriği(\%)} = \frac{\text{Taze Ağırlık-Kuru Ağırlık}}{\text{Turgit Ağırlık-Kuru Ağırlık}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2.2 Toplam Klorofil İçeriği Optik Yöntem (SPAD) (CCI)

Toplam klorofil içeriği ölçümünü yaparken el tipi taşınabilir SPAD-502 Plus cihazı kullanılmıştır. Böylece yapraklar parçalanmadan, dalından koparılmaya gerek duyulmadan tahribatsız bir şekilde klorofil içeriği hesaplanmaktadır. Her fidanın rastgele 3 yaprağı seçilmiştir, her bir yaprağın üç farklı noktasından (uç, orta ve yaprak sapına yakın) ölçüm yapılmış ve ölçüm değerlerinin ortalamaları alınmıştır. SPAD ölçümleri ile Klorofil Konsantrasyon İndeksi (CCI) değerleri elde edilmiştir.



Şekil 13. SPAD-502 Plus cihazı ile toplam klorofil içeriği ölçümü

2.2.2.3 Klorofil Floresansı

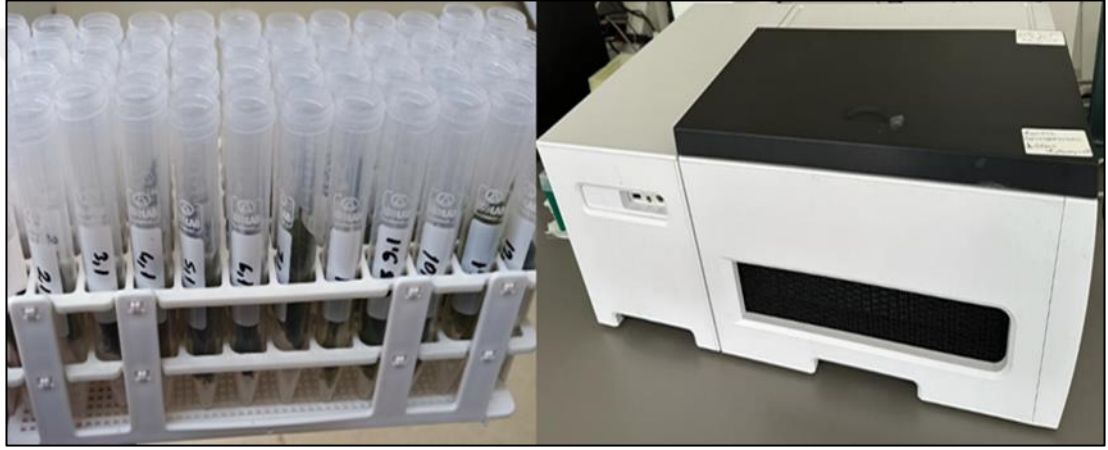
Klorofil floresansı ölçümleri için Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) fidanlarının yapraklarına klipsler takılıp 30 dk süresince karanlığa uyum sağlamaları beklenmiştir. Taşınabilen ve ayarlanabilen OptiScience OS5p. cihazı ile fidanların klorofil floresansı ölçümleri yapılmıştır. Bir bilgisayara ya da cihaza bağlanmadan tek başına çalışmaktadır. Ölçümler sonunda hemen klorofil floresansı sonuçları elde edilmektedir.



Şekil 14. OS5p. cihazı ile Klorofil floresansının ölçülmesi

2.2.2.4 Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İçeriği

Doğu kayını fidanlarının yaprakları toplanmıştır. Yapraklardan 0,1 g örnek alınarak sıvı azot ile homojenize edilmiştir. Devamında %0,1 trikoloro asetik asit ilave edilerek tekrar homojenize yapılan numuneler 4  C’de 10 dk boyunca 15000g’da santrifüj uygulanmıştır. Sonrasında numunelere 1 ml süpernatant alınıp, üzerine 1 ml potasyum fosfat tamponu (10 mM) ve 1,5 ml potasyum iyodür (1 mM) eklenmiştir. Bu karışımın absorbansı 390 nm’de spektrofotometrede okunup belirlenmiştir (Velikova ve ark., 2000). Her orijinin, tüm sulama rejimleri için yaprak numunelerinden 3 tekrarlı olarak örnekler hazırlanmıştır ve ölçümleri yapılmıştır.



şekil 15. Hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği lm

2.2.2.5 Lipid Peroksidasyonu Seviyesi (MDA)

Metabolizmada oluşan serbest radikaller, membranların yapısındaki doymamış yağ asitlerini etkileyerek lipid peroksidasyonuna neden olup, lipid peroksitlerin parçalanmasıyla da MDA (malondialdehit) denilen reaktif karbon bileşikleri ortaya çıkmaktadır (Cheeseman ve Slater, 1993; Gonzlez ve ark., 2005). Lipid peroksidasyonun son ürünü olan malondialdehit (MDA) analizleriyle kuraklık stresinin membranlardaki etkileri görülmektedir (Hodges ve ark., 1999).

Yapraklardan alınan 0,1 g örnekler sıvı azot ile homojenize edildikten sonra, üzerine 1,8 ml %0,1’lik trikloro asetik asit eklenmiştir. Devamında örneklere 4  C’de 10 dk boyunca 15000 g’de santrifüj uygulanmıştır. Sonrasında numunelerden 1 ml süpernatant alınıp, üzerlerine %0,5’lik tiobarbiturik asit içeren %20 trikloro asetik asit karışımından 4 ml eklenmiştir.

Numuneler vortekslenip ve 95 °C’de 30 dk inkübe uygulanmıştır. Devamında buz banyosuna gönderilip, soğutulan örneklerin absorbsansları spektrofotometrede spesifik 532 nm ve spesifik olmayan 600 nm’de ölçülmüştür. Delta absorbsans (532 nm-600 nm) değerleri için $\Delta = \epsilon \cdot c \cdot l$ formülü kullanılmıştır (Kılıç, 2020). ($\Delta = A_{532} - A_{600}$, ϵ : Absorbsiyon katsayısı (155 mmol⁻¹ cm⁻¹), c: konsantrasyon). Her orijinin, tüm sulama rejimleri için yaprak numunelerinden 3 tekrarlı olarak örnekler hazırlanmıştır ve ölçümleri yapılmıştır.



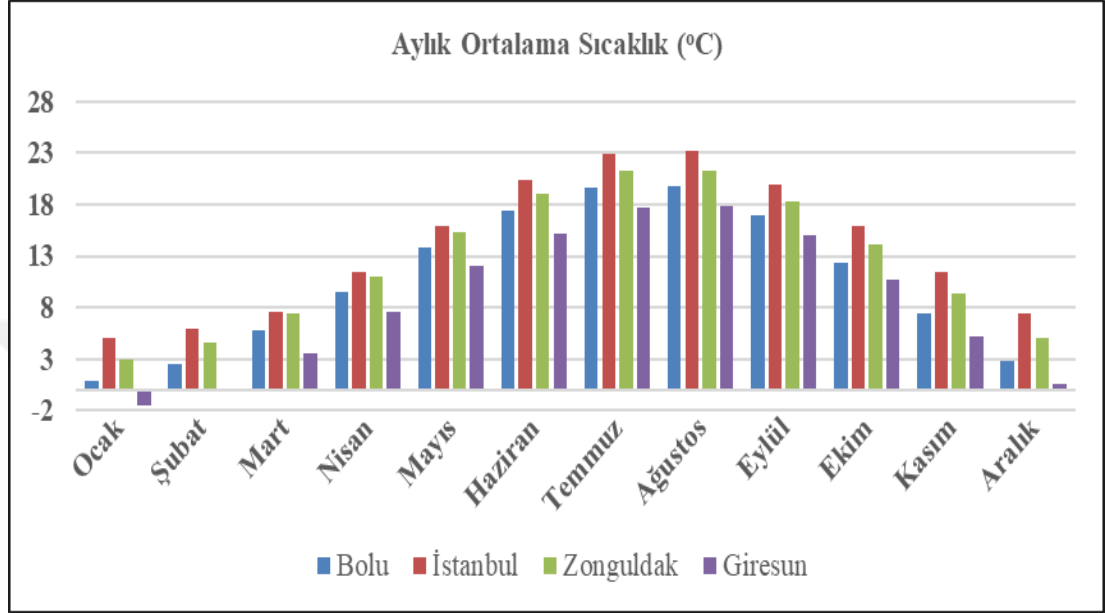
Şekil 16. Malondialdehit (MDA) seviyesinin ölçümü

2.3 Orijinlere Ait Bazı İklim Özellikleri

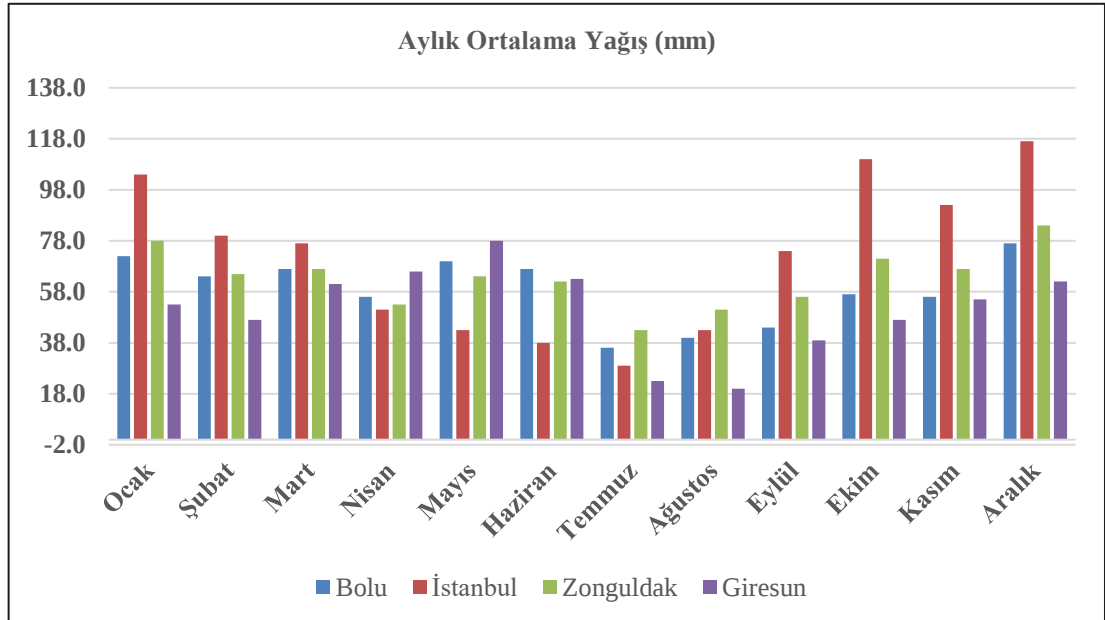
2.3.1 Thornthwaite İklim Sınıflandırması

Dünyadaki iklim tiplerini ayırt edebilmek amacıyla pek çok değişik yöntemle iklim sınıflandırmaları oluşturulmuştur. Amaç, dünyada oluşan iklim tiplerinin belirlenerek, benzer ve farklı olanların sınırlarının tespit edilmesidir. Bu yöntemlerden bir tanesi de Thornthwaite İklim Sınıflandırması’dır. Buna göre, bir bölgenin ikliminin tespiti için aylık ortalama sıcaklık-yağış ve evapotranspirasyon değerlerinden faydalanılarak, toprakta yıl içinde depolanan su, depo değişikliği, yıllık gerçek evapotranspirasyon değeri, su noksanı, su fazlası, yüzeysel akış ve nemlilik değerleri belirlenmektedir (Ardel ve ark, 1969; MGM, 2016). Yapılan su bilânçosu tablosundaki potansiyel evapotranspirasyon, su fazlası ve su noksanı değerlerinden yararlanılarak, iklim tiplerini yansıtan harflerin tespiti için yağış etkinlik indeksi, sıcaklık etkinlik indeksi, yağış rejim indeksi ve ETP’nin üç yaz oranı indeksi hesabı yapılmaktadır (Thornthwaite, 1948).

Thornthwaite yöntemini kullanarak çoğu araştırmacı tarafından iklim sınıfının, su bilançosunun ve iklim tipinin tespiti için birçok çalışma yapılmıştır (Köppen, 1918; Yeşilnacar ve ark., 1998, Çoban, 2013; Demir ve ark., 2015; Yılmaz ve Çiçek, 2016; Lias ve Laban, 2020).



Şekil 17. Orijinlere ait aylık ortalama sıcaklık (°C) diyagramı (1991-2020)



Şekil 18. Orijinlere ait aylık ortalama yağış diyagramı (1991-2020)

Thornthwaite göre yağış buharlaşmadan fazla olursa, toprak doymuş halde olduğu için bu yerlerde su fazlalığı oluşmaktadır ve bu yerin iklimi nemli olarak ifade edilmektedir. Fakat yağışlar buharlaşmadan az olursa, toprakta su birikmediği ve toprak bitkilere gerekli olan suyu veremeyeceği için su noksanlığı oluşmaktadır ve bu yerin iklimi kurak olarak belirtilmektedir (Ardel ve ark, 1969; MGM, 2016). Nemli iklimler nemlilik derecelerine bağlı olarak 6, kurak iklimler de kuraklık derecelerine bağlı olarak 3 iklim tipinde incelenmektedirler (Ardel ve ark., 1969).

Thornthwaite iklim sınıflandırması, Amerikalı iklim bilimci C. Warren Thornthwaite tarafından belirlenen ve Potansiyel Evapotranspirasyon (ETP) kavramına dayanan bir yöntemdir (Thornthwaite, 1948). ETP, sıcaklığın artmasıyla artan ve nemin artmasıyla azalan bir kavramdır (Çolak ve Memişoğlu, 2021).

Potansiyel evapotranspirasyon (ETP) Formülü (2,3,4,5) verilmiştir. Bu formülde (ETP) aylık potansiyel evapotranspirasyonu (mm), (t) aylık ortalama sıcaklığı (°C), (I) yıllık sıcaklık indeksini, (i) aylık sıcaklık indisini, (G) enlem düzeltme katsayısını ifade etmektedir (MGM, 2016, Dursun ve Yazıcı, 2022).

$$ETP=16 \times \left(\frac{10 \times t}{I} \right)^a \times G \quad (2)$$

$$a=6,7510 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,7110 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,791210 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (3)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (4)$$

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (5)$$

Çalışmamızın Thornthwaite İklim Sınıflandırması için kullanılan (1991-2020) veriler Worldclim'den dünya iklim haritaları her bir ay ve parametre için ayrı ayrı alınmıştır ve sonrasında orijinlere ilişkin değerler buradan belirlenmiştir. İklim verileri, İklim Sınıflandırması için hazırlandıktan sonra orijinlerin su bilânçosu tabloları ve diyagramları yapılmıştır.

Su bilânçosu tablosu için kullanılan yöntemler sırasıyla aşağıdaki verilmiştir:

Ortalama sıcaklıklar, Worldclim'den alınan aylık sıcaklıklarının toplanıp, yıl sayısına bölünmesiyle bulunup tabloya ay ay yazılmıştır. Sonrasında aylık ortalamalardan belirlenen değerlerin yıllık ortalama sıcaklıkları su bilânçosu tablosuna yazılmıştır (İrcan ve Duman, 2021).

Sıcaklık indisi, aylık sıcaklık ortalamalarına bakılarak belirlenmiştir ve Formülü (6) aşağıda verilmiştir. Bu formülde (si) sıcaklık indisini, (s) aylık ortalama sıcaklığını ifade etmektedir (İrcan ve Duman, 2021).

$$si = \left(\frac{s}{5}\right)^{1,514} \quad (6)$$

Aylık evapotranspirasyonun hesaplanması için gerekli olan Enlem Düzeltme Katsayısı (G), bölgenin enlemine göre belirlenmiştir ve Thornthwaite tarafından tablo halinde yayınlanmıştır (Thornthwaite, 1948).

Düzeltilmemiş potansiyel evapotranspirasyon (Dpe) Formülü (7,8) aşağıda verilmiştir. Bu formülde (s) aylık ortalama sıcaklığını ve (Sİ) yıllık sıcaklık indisini ifade etmektedir (İrcan ve Duman, 2021).

$$Dpe = 16 \times \left(\frac{10s}{Sİ}\right)^a \quad (7)$$

$$a = (0,000000675 \times Sİ^2) - (0,000077 \times Sİ^2) + (0,01792 \times Sİ^2) + 0,49239 \quad (8)$$

Düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon (PE) Formül (9) aşağıda verilmiştir. Bu formülde (Dpe) düzeltilmemiş potansiyel evapotranspirasyonu ve (G) enleme göre düzeltme katsayısını ifade etmektedir (İrcan ve Duman, 2021).

$$PE = Dpe \times G \quad (9)$$

Düzeltilmiş (PE) ve yağışa bağlı olarak Gerçek evapotranspirasyon belirlenmektedir. Gerçek evapotranspirasyon, yağış yetmediği ve toprakta su bulunduğu halde, topraktaki depolanmış su ile karşılanır ve böylece bazı zamanlarda o ayda düşen

yağıştan daha çok evapotranspirasyon meydana gelebilir. Yağış miktarı Düzeltilmiş PE'yi karşılaması durumunda fazla olan yağışın bir kısmı toprakta depolanmaktadır. Bu fazlalık su bilânçosu tablosundaki depo değişikliği kısmını, depoda biriken su miktarı da depolama kısmını oluşturur (Erinç, 1984).

Su noksanı: Düzeltilmiş evapotranspirasyon (PE) değerinden, aylık toplam yağış ve depolanan su miktarının çıkarılmasıyla elde edilmektedir (Yılmaz, 2020).

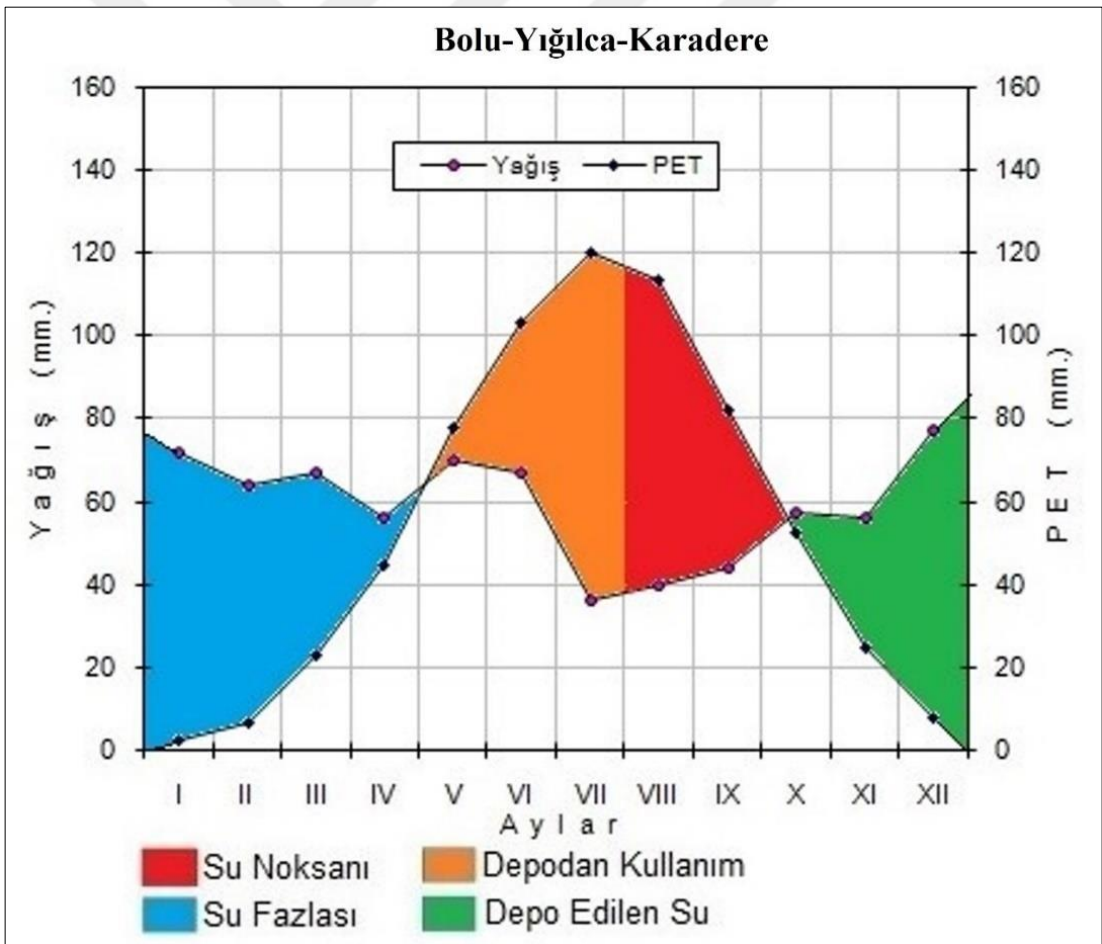
Su fazlası: Yağış miktarından, Düzeltilmiş evapotranspirasyon (PE) değeri ve Depo değişim (DD) miktarının çıkarılması ile elde edilmektedir (Yılmaz, 2020).

Yüzeysel akış için su fazlasının olduğu ilk aydan başlanıp, bu ayın değeri ikiye bölünerek, yarısı yüzeysel akışa yazılır, kalan yarısı ise sonraki ayın su fazlası değeriyle toplanıp, ikiye bölünerek tekrar yarısı yazılır. Böylece değer 1'in altına düşene kadar hesaplanır ve 1'in altına düştüğü aylara sıfır yazılır (İrcan ve Duman, 2021).

Nemlilik (n) Formülü (10) aşağıda verilmiştir. Bu formülde (I) yağışı, (PE) düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyonu ifade etmektedir (İrcan ve Duman, 2021).

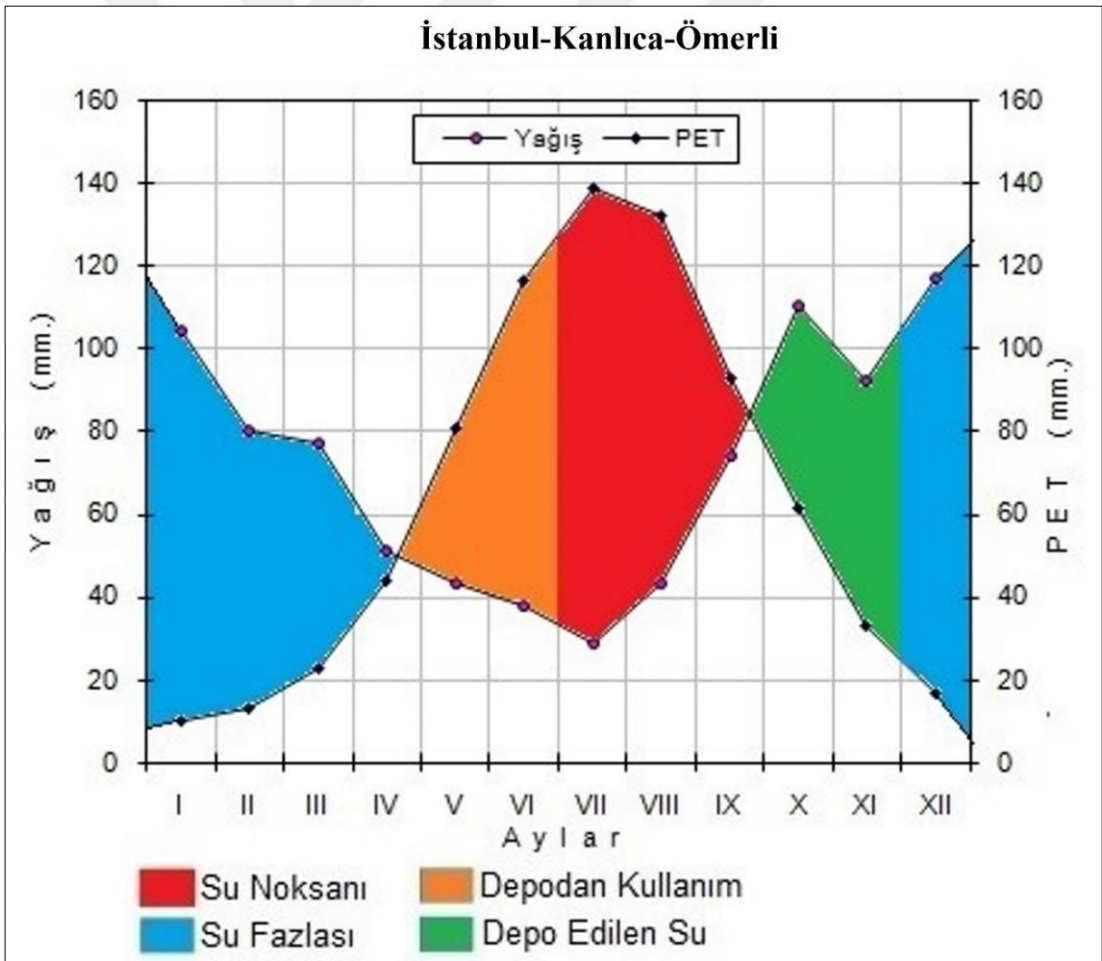
$$n = \frac{I - PE}{PE} \quad (10)$$

Bolu su bilânçosu diyagramına göre, ekim ayındaki yağış miktarının, potansiyel evapotranspirasyondan fazla olması, bu aydan itibaren toprağın suya doymuş halde olduğunu göstermektedir. Aralık ayından nisan ayının sonuna kadar (toplamda 188,5 mm) su fazlalığı olduğu için bu dönem Bolu için nemli devre olarak ifade edilmektedir. Mayıs ve haziran aylarında potansiyel evapotranspirasyonun yağış miktarından fazla olması sebebiyle düşen yağış miktarı buharlaşma ile kaybolan su miktarını karşılayamamakta ve toprakta depolanan su, bu ayla birlikte kullanılmaktadır. Toprakta depolanmış olan suyun kullanıldığı bu aylar Bolu için yarı nemli devre olarak belirtilmektedir. Temmuz, ağustos, eylül aylarında ortaya çıkan (toplam 139,8 mm) su noksanlığı ise hem toprakta depolanan suyun tamamen bitmesi hem de yağış miktarının potansiyel evapotranspirasyondan düşüklüğü sebebiyle, bu ayların kurak devre olarak belirtilmesine yol açmıştır.



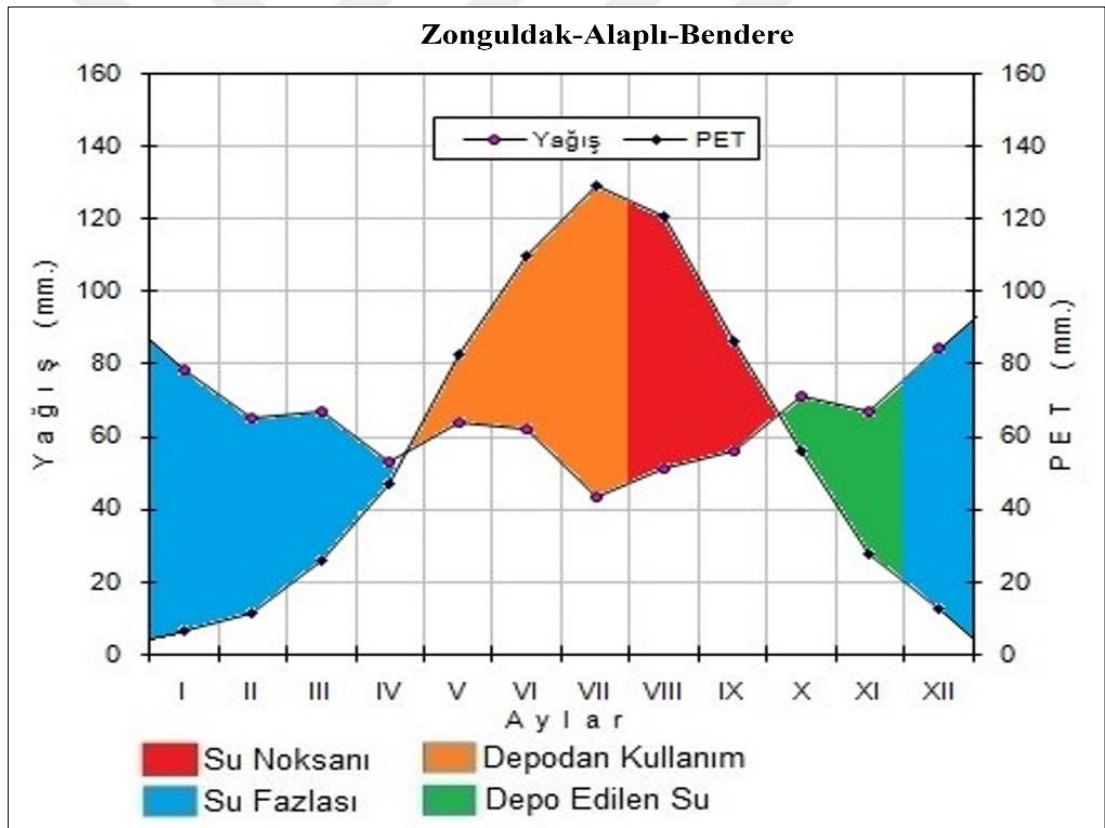
Şekil 19. Bolu'nun Thornthwaite su bilânçosu diyagramı

İstanbul su bilânçosu diyagramına göre, ekim ayındaki yağış miktarının, potansiyel evapotranspirasyondan fazla olması, bu aydan itibaren toprağın suya doymuş halde olduğunu göstermektedir. Kasım ayından nisan ayının sonuna kadar (toplamda 330,6 mm) su fazlalığı olduğu için bu dönem İstanbul için nemli devre olarak ifade edilmektedir. Mayıs ayında potansiyel evapotranspirasyonun yağış miktarından fazla olması sebebiyle düşen yağış miktarı buharlaşma ile kaybolan su miktarını karşılayamamakta ve toprakta depolanan su, bu ayla birlikte kullanılmaktadır. Toprakta depolanmış olan suyun kullanıldığı bu ay İstanbul için yarı nemli devre olarak belirtilmektedir. Haziran, temmuz, ağustos, eylül aylarında ortaya çıkan (toplamda 234 mm) su noksanlığı ise toprakta depolanan suyun tamamen bitmesi hem de yağış miktarının potansiyel evapotranspirasyondan düşüklüğü sebebiyle, bu ayların kurak devre olarak belirtilmesine yol açmıştır.



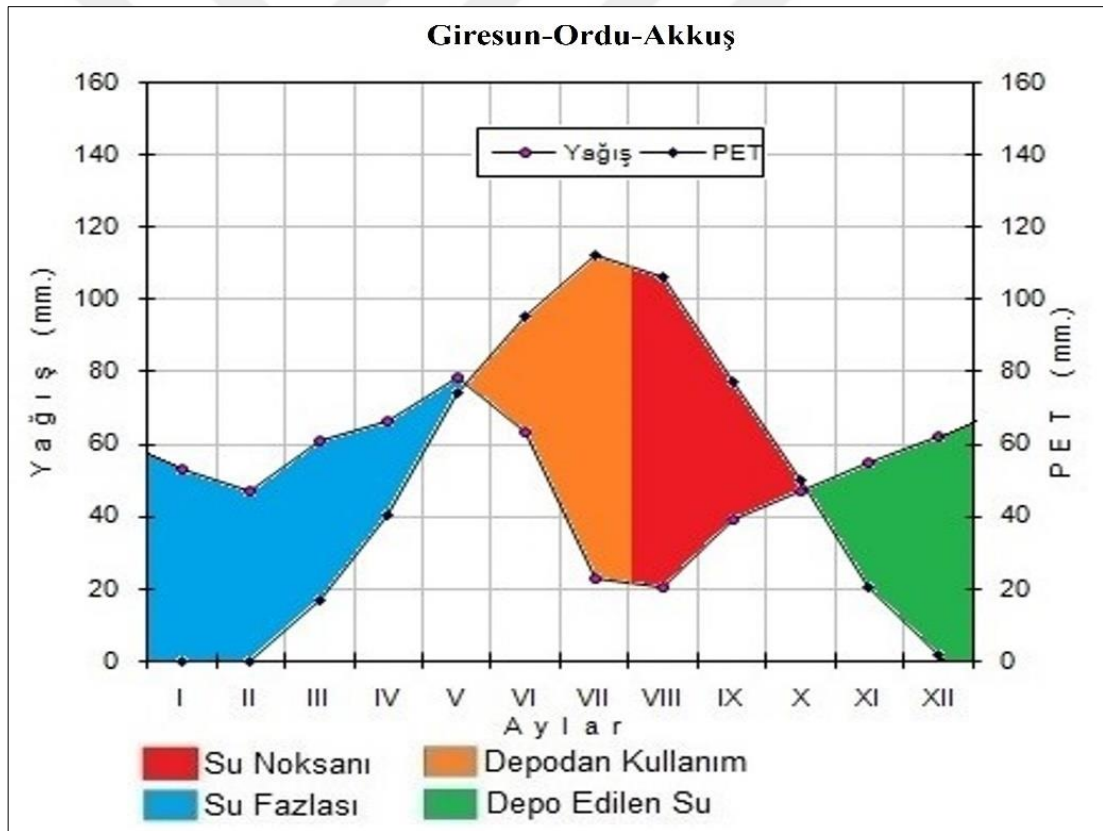
Şekil 20. İstanbul'un Thornthwaite su bilânçosu diyagramı

Zonguldak su bilânçosu diyagramına göre, ekim ayındaki yağış miktarının, potansiyel evapotranspirasyondan fazla olması, bu aydan itibaren toprağın suya doymuş halde olduğunu göstermektedir. Aralık ayından nisan ayının sonuna kadar (toplamda 199 mm) su fazlalığı olduğu için bu dönem Zonguldak için nemli devre olarak ifade edilmektedir. Mayıs ve haziran aylarında potansiyel evapotranspirasyonun yağış miktarından fazla olması sebebiyle düşen yağış miktarı buharlaşma ile kaybolan su miktarını karşılayamamakta ve toprakta depolanan su, bu aylarla birlikte kullanılmaktadır. Toprakta depolanmış olan suyun kullanıldığı bu ay Zonguldak için yarı nemli devre olarak belirtilmektedir. Temmuz, ağustos, eylül aylarında ortaya çıkan (toplamda 151,1 mm) su noksanlığı ise toprakta depolanan suyun tamamen bitmesi hem de yağış miktarının potansiyel evapotranspirasyondan düşüklüğü sebebiyle, bu ayların kurak devre olarak belirtilmesine yol açmıştır.



Şekil 21. Zonguldak'ın Thornthwaite su bilânçosu diyagramı

Giresun su bilânçosu diyagramına göre, kasım ayındaki yağış miktarının, potansiyel evapotranspirasyondan fazla olması, bu aydan itibaren toprağın suya doymuş halde olduğunu göstermektedir. Ocak ayından Mayıs ayının sonuna kadar (toplamda 169,6 mm) su fazlalığı olduğu için bu dönem Giresun için nemli devre olarak ifade edilmektedir. Haziran ayında potansiyel evapotranspirasyonun yağış miktarından fazla olması sebebiyle düşen yağış miktarı buharlaşma ile kaybolan su miktarını karşılayamamakta ve toprakta depolanan su, bu ayda kullanılmaktadır. Toprakta depolanmış olan suyun kullanıldığı bu ay Giresun için yarı nemli devre olarak belirtilmektedir. Temmuz, ağustos, eylül, ekim aylarında ortaya çıkan (toplamda 148 mm) su noksanlığı ise toprakta depolanan suyun tamamen bitmesi hem de yağış miktarının potansiyel evapotranspirasyondan düşüklüğü sebebiyle, bu ayların kurak devre olarak belirtilmesine yol açmıştır.



Şekil 22. Giresun'un Thornthwaite su bilânçosu diyagramı

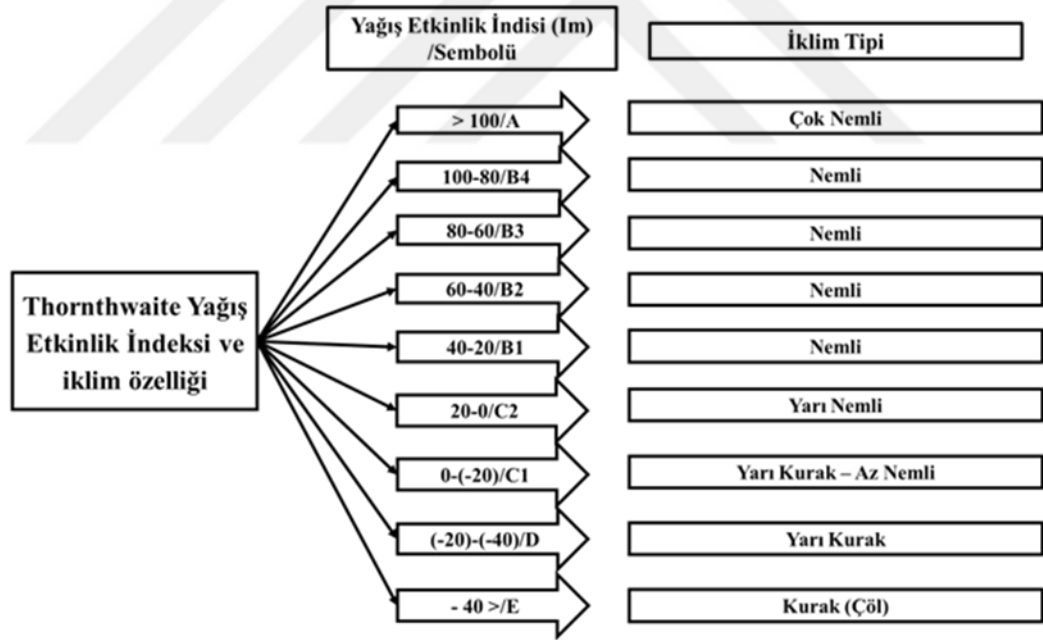
2.3.2 Thornthwaite İklim Sınıflandırması indeksleri

2.3.2.1 Thornthwaite Yağış Etkinlik İndeksi

Thornthwaite, iklimleri, nemli ve kurak iklimler olarak iki gruba ayırmıştır; iklimler en nemliden en kurağa doğru sıralanmıştır. Yağış Etkinlik İndeksi (Im) Formülü (11) kullanılarak, elde edilen değer ile belirlenen harf, iklim tiplerinin ilk harfini oluşturmaktadır (MGM, 2016; İrcan ve Duman, 2021). Nemli ve kurak iklimler olarak iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 23), değerler yüksek nem içeriğinden düşük nem içeriğine doğru sıralanmıştır (Thornthwaite, 1948, Çolak ve Memişoğlu, 2021).

$$Im = \frac{(100 \times s) - (60 \times d)}{Etp} \quad (11)$$

Bu formülde (s) yıllık su fazlasını, (d) yıllık su eksikliğini ve (ETP) Yıllık potansiyel evapotranspirasyonu ifade etmektedir (Thornthwaite, 1948; Dursun ve Yazıcı, 2022).

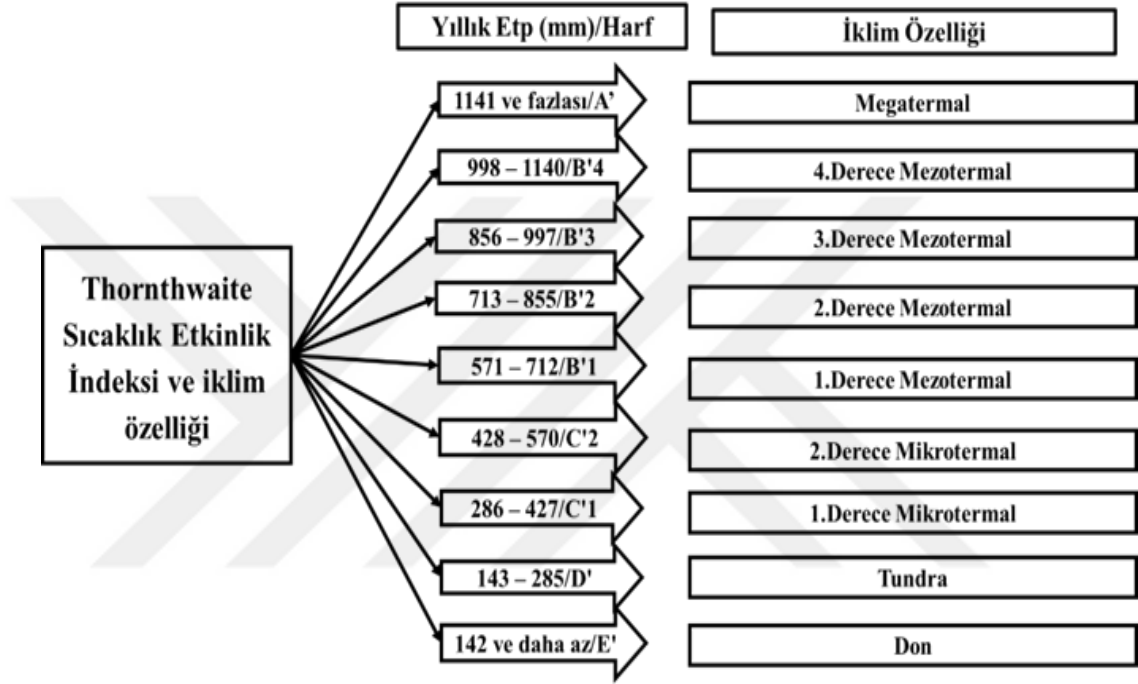


Şekil 23. Thornthwaite Yağış Etkinlik İndeksi ve iklim özelliği

Yağış Etkinlik İndeksine göre İstanbul orijini ise B1 Nemli; Bolu, Zonguldak ve Giresun orijinleri C2 Yarı Nemli İklim Tiplerine sahiptirler.

2.3.2.2 Thornthwaite Sıcaklık Etkinlik İndeksi

Thornthwaite, bu 9 iklim tipinin termik karakterlerini, sıcaklıkla buharlaşma arasındaki ilişkiye bakarak seçmiş ve harflendirmiştir, bu harfler ise iklim tiplerinin ikinci harflerini göstermektedir (MGM, 2016; İrcan ve Duman, 2021). Sıcaklık indisi, yıllık evapotranspirasyon değerinden yararlanılarak belirlenmektedir (Şekil 24) (Thornthwaite, 1948, Çolak ve Memişoğlu, 2021).



Şekil 24. Thornthwaite Sıcaklık Etkinlik İndeksi ve iklim özelliği

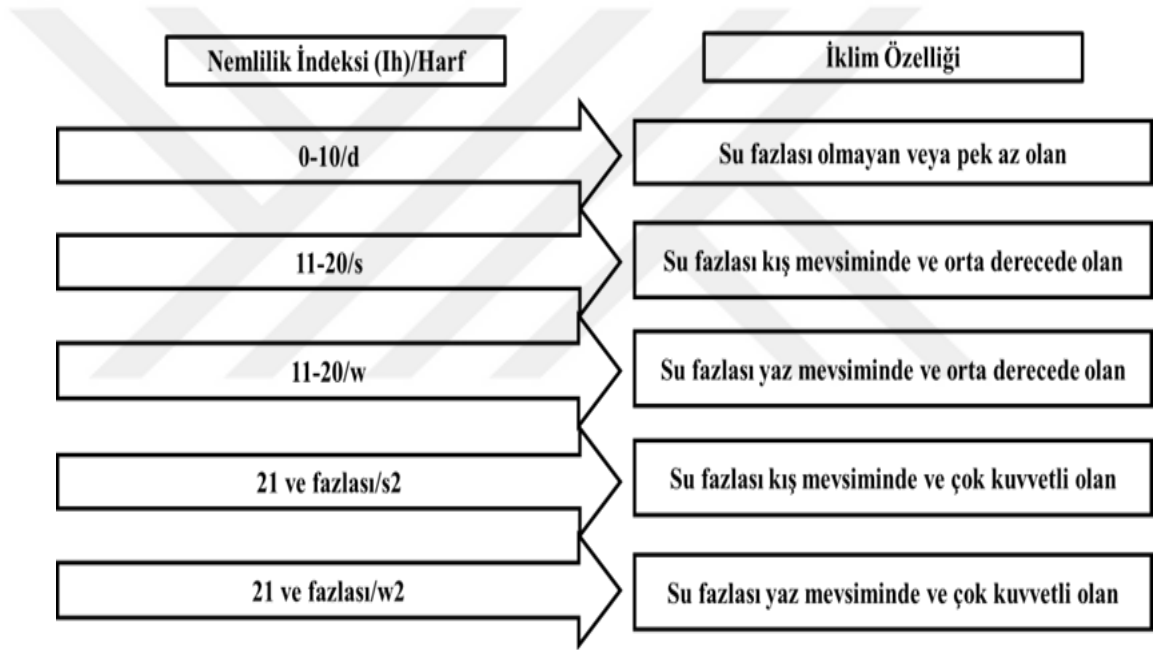
Sıcaklık Etkinlik İndeksine göre Bolu ve Giresun orijinleri B'1, 1. Derecede Mezotermal; İstanbul ve Zonguldak orijinleri B'2, 2. Derecede Mezotermal İklim Özelliğine sahiptirler.

2.3.2.3 Thornthwaite Yağış Rejimi İndeksleri

Thornthwaite, yağışın mevsimlere dağılışına göre de iklimleri sınıflandırmaktadır ve o yerin yıllık Etp değeri, su fazlası ve su eksiği kullanılmaktadır (MGM, 2016).

Kurak iklimler için Nemlilik İndeksi (Ih) Formülü (12) aşağıda verilmiştir. Bu formül hesap edilerek iklim özellikleri belirlenmektedir (Şekil 25) (Thornthwaite 1948). Bu formülde (s) yıllık su fazlasını ve (ETP) Yıllık potansiyel evapotranspirasyonu ifade etmektedir (MGM, 2016; İrcan ve Duman, 2021; Dursun ve Yazıcı, 2022).

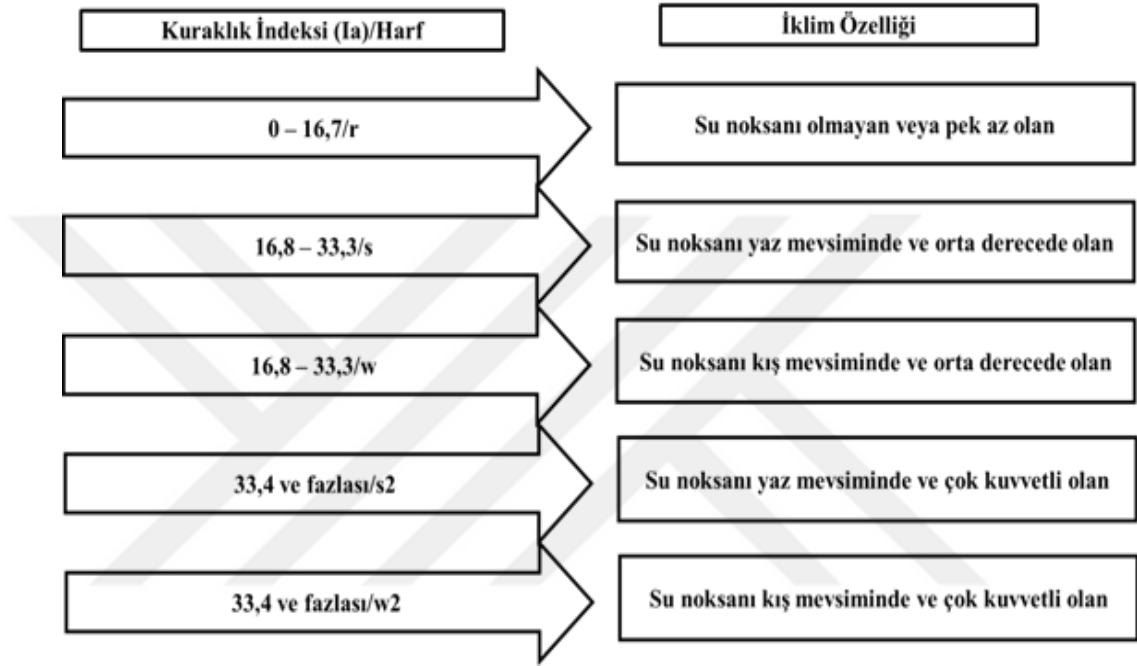
$$I_h = \frac{100 \times s}{Etp} \quad (12)$$



Şekil 25. Thornthwaite Nemlilik İndeksi ve iklim özelliği

Yağışlı iklimler için Kuraklık İndeksi (Ia) Formülü (13) verilmiştir. Bu formül hesap edilerek iklim özellikleri belirlenmektedir (Şekil 26) (Thornthwaite 1948). Bu formülde (d) yıllık su noksanı ve (ETP) Yıllık potansiyel evapotranspirasyonu ifade etmektedir (MGM, 2016; Dursun ve Yazıcı, 2022).

$$Ia = \frac{100 \times d}{ETP} \quad (13)$$

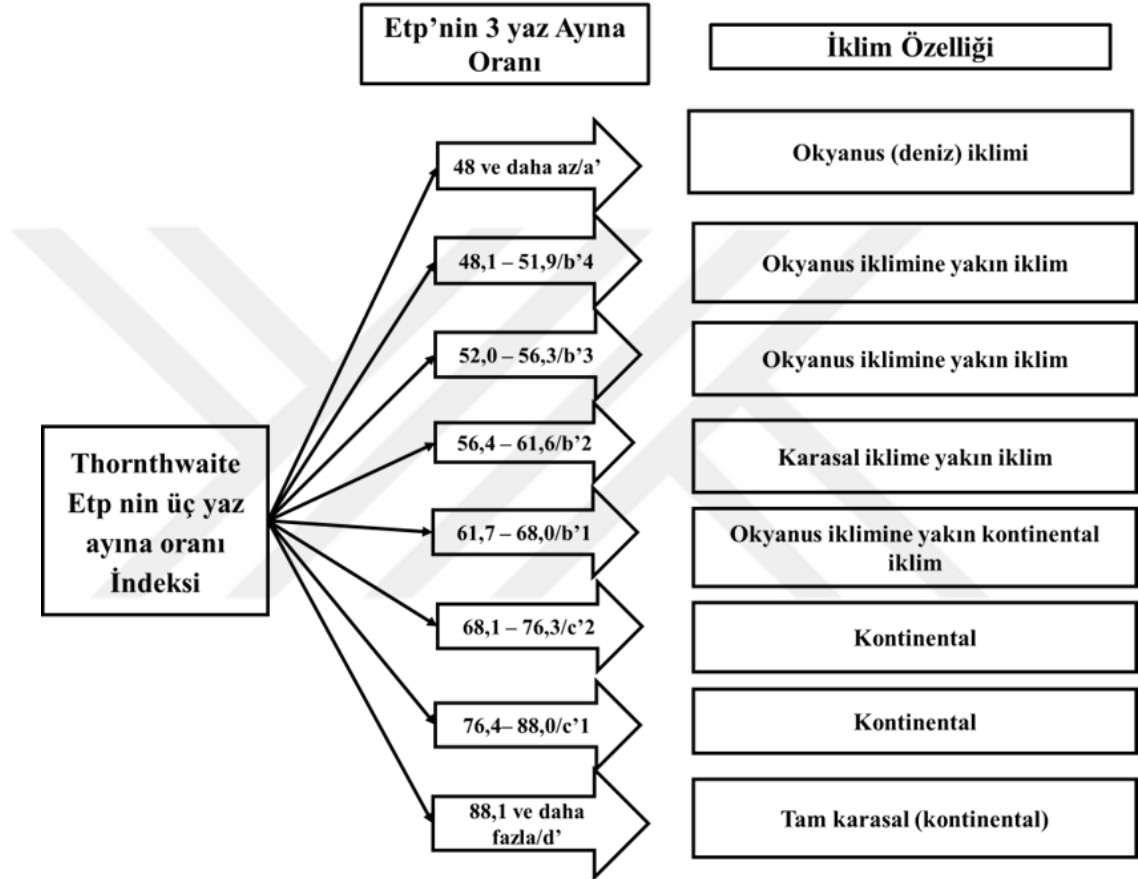


Şekil 26. Thornthwaite Kuraklık İndeksi ve iklim özelliği

Yağışlı iklimler için Kuraklık İndeksine göre Bolu, İstanbul, Zonguldak ve Giresun orijinleri “su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan (s)” iklim özelliklerine sahiptirler.

2.3.2.4 Thornthwaite Etp'nin Üç Yaz Ayına Oranı İndeksi

Haziran, temmuz, ağustos aylarındaki Potansiyel Evapotranspirasyonun, yıllık Potansiyel Evapotranspirasyona oranını, Thornthwaite Etp'nin üç yaz ayına oranı İndeksi olarak oluşturulmuştur ve bu iklim tiplerinin dördüncü harflerini göstermektedir (Şekil 27) (Thornthwaite 1948, MGM, 2016).



Şekil 27. Thornthwaite Etp'nin üç yaz ayına oranı İndeksi

Etp'nin üç yaz ayına oranı İndeksine göre Bolu, İstanbul ve Zonguldak orijini b'4; Giresun orijini b'3, Okyanus iklimine yakın iklim tiplerine sahiptirler.

Sonuç olarak, bu dört işlem aşamasının birleştirilmesiyle tüm orijinlerin Thornthwaite iklim sınıflandırması yapılmıştır.

Tablo 2. Bolu için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu

Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu																
İli.....: Bolu																
İlçesi.....: Karadere																
Rakım (m).....:875																
Ölçme yılları.....:1991-2020																
Enlemi.....: 40.88																
Boylamı.....: 31.41																
Bilânço elemanları		A Y L A R												Vejetasyon devresi		YILLIK
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	İçi	Dışı	
Sıcaklık	°C	0,9	2,5	5,8	9,5	13,8	17,4	19,6	19,8	16,9	12,4	7,4	2,8			10,7
Sıcaklık indisi	i	0,1	0,4	1,3	2,6	4,7	6,6	7,9	8,0	6,3	4,0	1,8	0,4			44,0
Düzeltilmemiş PE	mm.	2,4	8,2	22,2	39,9	62,3	82,1	94,6	95,7	79,3	54,8	29,7	9,3			
Güneşlenme süresine göre PE tashih emsali		0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80			
Düzeltilmiş PE		2,0	6,8	22,9	44,4	77,6	103,4	120,0	113,6	82,2	52,5	24,5	7,5	549,3	108,0	657,3
Yağış	y	72,0	64,0	67,0	56,0	70,0	67,0	36,0	40,0	44,0	57,0	56,0	77,0	314,0	392,0	706,0
Depo Değişikliği	DD	-	-	-	-	-7,6	-36,4	-56,0	-	-	4,5	31,5	64,0			
Depolama	D	100,0	100,0	100,0	100,0	92,4	56,0	-	-	-	4,5	36,0	100,0			100,0
Gerçek Evapotranspirasyon	GET	2,0	6,8	22,9	44,4	77,6	103,4	92,0	40,0	44,0	52,5	24,5	7,5	409,5	108,0	517,5
Su Noksanı	Sn	-	-	-	-	-	-	28,0	73,6	38,2	-	-	-	139,8	0,0	139,8
Su Fazlası	Sf	70,0	57,2	44,1	11,6	-	-	-	-	-	-	-	5,6	0,0	188,5	188,5
Yüzeysel Akış	Yü1	37,8	63,6	50,7	27,9	5,8	-	-	-	-	-	-	2,8	5,8	182,7	188,5
" "	Yü2	36,4	46,8	45,5	28,5	14,3	7,1	3,6	1,8	0,9	0,4	0,2	2,9	0,0	188,5	188,5
Nemlilik Oranı	Ne	34,7	8,4	1,9	0,3	-0,1	-0,4	-0,7	-0,6	-0,5	0,1	1,3	9,3			
İklim Tipi		C2 B'1 s b'4 : Yarı Nemli, Orta sıcaklıkta (Mezotermal), Su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan, Okyanus iklimine yakın iklim														

Tablo 3. İstanbul için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu

Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu																
İli.....: İstanbul														Enlemi.....: 41.09		
İlçesi.....: Ömerli														Boylamı.....: 29.38		
Rakım (m).....:180																
Ölçme yılları.....:1991-2020																
Bilânço elemanları		A Y L A R												Vejetasyon devresi		YILLIK
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	İçi	Dışı	
Sıcaklık	°C	5,1	6,0	7,6	11,4	15,9	20,4	22,9	23,2	20,0	15,9	11,5	7,4			13,9
Sıcaklık indisi	i	1,0	1,3	1,9	3,5	5,8	8,4	10,0	10,2	8,2	5,8	3,5	1,8			61,4
Düzeltilmemiş PE	mm.	12,2	15,5	21,9	39,5	64,1	92,2	109,1	111,2	89,6	64,1	40,0	21,0			
Güneşlenme süresine göre PE tashih emsali		0,83	0,83	1,03	1,11	1,26	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80			
Düzeltilmiş PE		10,1	12,9	22,5	43,9	80,8	116,4	138,8	132,1	92,9	61,3	32,9	16,8	699,1	62,2	761,4
Yağış	y	104,0	80,0	77,0	51,0	43,0	38,0	29,0	43,0	74,0	110,0	92,0	117,0	480,0	378,0	858,0
Depo Değişikliği	DD	-	-	-	-	-37,8	-62,2	-	-	-	48,7	51,3	-			
Depolama	D	100,0	100,0	100,0	100,0	62,2	-	-	-	-	48,7	100,0	100,0			100,0
Gerçek Evapotransprasyon	GET	10,1	12,9	22,5	43,9	80,8	100,2	29,0	43,0	74,0	61,3	32,9	16,8	465,1	62,2	527,4
Su Noksanı	Sn	-	-	-	-	-	16,1	109,8	89,1	18,9	-	-	-	234,0	0,0	234,0
Su Fazlası	Sf	93,9	67,1	54,5	7,1	-	-	-	-	-	-	7,8	100,2	14,9	315,8	330,6
Yüzeysel Akış	Yü1	97,1	80,5	60,8	30,8	3,5	-	-	-	-	-	3,9	54,0	38,2	292,4	330,6
" "	Yü2	73,1	70,1	62,3	34,7	17,3	8,7	4,3	2,2	1,1	0,5	4,2	52,2	0,0	330,6	330,6
Nemlilik Oranı	Ne	9,3	5,2	2,4	0,2	-0,5	-0,7	-0,8	-0,7	-0,2	0,8	1,8	6,0			
İklim Tipi		B1 B'2 s b'4 : Nemli, Orta sıcaklıkta (Mezotermal), Su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan, Okyanus iklimine yakın iklim														

Tablo 4. Zonguldak için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu

Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilânçosu Tablosu																
İli.....: Zonguldak																
İlçesi.....: Bendere																
Rakım (m).....: 500																
Ölçme yılları.....: 1991-2020																
Enlemi.....: 41.08																
Boylamı.....: 31.57																
Bilânço elemanları		A Y L A R												Vejetasyon devresi		YILLIK
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	İçi	Dışı	
Sıcaklık	°C	3,0	4,6	7,4	11,0	15,3	19,0	21,3	21,3	18,3	14,1	9,3	5,1			12,5
Sıcaklık indisi	i	0,5	0,9	1,8	3,3	5,4	7,5	9,0	9,0	7,1	4,8	2,6	1,0			52,9
Düzeltilmemiş PE	mm.	7,5	13,3	25,0	42,2	65,3	87,0	101,3	101,3	82,8	58,6	33,8	15,2			
Güneşlenme süresine göre PE tashih emsali		0,83	0,83	1,03	1,11	1,26	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80			
Düzeltilmiş PE		6,2	11,0	25,7	46,9	82,3	109,8	128,8	120,3	85,9	56,1	27,8	12,2	630,1	83,0	713,1
Yağış	y	78,0	65,0	67,0	53,0	64,0	62,0	43,0	51,0	56,0	71,0	67,0	84,0	400,0	361,0	761,0
Depo Değişikliği	DD	-	-	-	-	-18,3	-47,8	-33,9	-	-	14,9	39,2	45,9			
Depolama	D	100,0	100,0	100,0	100,0	81,7	33,9	-	-	-	14,9	54,1	100,0			100,0
Gerçek Evapotranspirasyon	GET	6,2	11,0	25,7	46,9	82,3	109,8	76,9	51,0	56,0	56,1	27,8	12,2	479,0	83,0	562,0
Su Noksanı	Sn	-	-	-	-	-	-	51,9	69,3	29,9	-	-	-	151,1	0,0	151,1
Su Fazlası	Sf	71,8	54,0	41,3	6,1	-	-	-	-	-	-	-	25,9	6,1	193,0	199,0
Yüzeysel Akış	Yü1	48,9	62,9	47,6	23,7	3,0	-	-	-	-	-	-	13,0	26,7	172,3	199,0
" "	Yü2	42,4	48,2	44,7	25,4	12,7	6,4	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	13,1	0,0	199,0	199,0
Nemlilik Oranı	Ne	11,5	4,9	1,6	0,1	-0,2	-0,4	-0,7	-0,6	-0,3	0,3	1,4	5,9			
İklim Tipi	C2 B'2 s b'4 : Yarı Nemli, Orta sıcaklıkta (Mezotermal), Su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan, Okyanus iklimine yakın iklim															

Tablo 5. Giresun için Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilançosu Tablosu

Thornthwaite Yöntemine Göre Su Bilançosu Tablosu																
İli.....: Giresun (Ordu)																
İlçesi.....: Akkuş																
Rakım (m).....: 1290																
Ölçme yılları.....: 1991-2020																
Enlemi.....: 40.79																
Boylamı.....: 37.04																
Bilanço elemanları		A Y L A R												Vejetasyon devresi		YILLIK
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	İçi	Dışı	
Sıcaklık	°C	-1,5	-0,1	3,5	7,6	12,1	15,2	17,7	17,9	15,0	10,7	5,2	0,5			8,7
Sıcaklık indisi	i	0,0	0,0	0,6	1,9	3,8	5,4	6,8	6,9	5,3	3,2	1,1	0,0			34,9
Düzeltilmemiş PE	mm.	0,0	0,0	16,1	36,3	59,2	75,3	88,4	89,5	74,3	52,1	24,4	2,1			
Güneşlenme süresine göre PE tashih emsali		0,83	0,83	1,03	1,11	1,24	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,83	0,80			
Düzeltilmiş PE		0,0	0,0	16,5	40,4	73,8	94,9	112,1	106,2	77,0	49,8	20,1	1,7	513,8	78,7	592,4
Yağış	y	53,0	47,0	61,0	66,0	78,0	63,0	23,0	20,0	39,0	47,0	55,0	62,0	270,0	344,0	614,0
Depo Değişikliği	DD	4,8	-	-	-	-	-31,9	-68,1	-	-	-	34,9	60,3			
Depolama	D	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	68,1	-	-	-	-	34,9	95,2			100,0
Gerçek Evapotranspirasyon	GET	-	-	16,5	40,4	73,8	94,9	91,1	20,0	39,0	47,0	20,1	1,7	365,8	78,7	444,4
Su Noksanı	Sn	-	-	-	-	-	-	21,0	86,2	38,0	2,8	-	-	148,0	0,0	148,0
Su Fazlası	Sf	48,2	47,0	44,5	25,6	4,2	-	-	-	-	-	-	-	4,2	165,3	169,6
Yüzeysel Akış	Yü1	24,1	47,6	45,7	35,0	14,9	2,1	-	-	-	-	-	-	17,1	152,5	169,6
" "	Yü2	24,2	35,6	40,0	32,8	18,5	9,3	4,6	2,3	1,2	0,6	0,3	0,1	0,0	169,6	169,6
Nemlilik Oranı	Ne	53,0	47,0	2,7	0,6	0,1	-0,3	-0,8	-0,8	-0,5	-0,1	1,7	36,3			
İklim Tipi	C2 B'1 s b'3 : Yarı Nemli, Orta sıcaklıkta (Mezotermal), Su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan, Okyanus iklimine yakın iklim															

2.4 İstatistiksel Analizler

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesinde “IBM SPSS Statistics Version 25” paket istatistik programı kullanılmıştır; varyans analizi, Duncan testi analizleri yapılmıştır; grafiklerin çiziminde Microsoft Office Excel 2021 programı kullanılmıştır.

Varyans analizi sonucunda istatistiksel bakımdan anlamlı ($p \leq 0,05$) farklılıklar bulunması halinde “Duncan” testi uygulanarak homojen gruplar tespit edilmiştir. Gruplar arasındaki farkı belirleyebilmek için ise Duncan testi kullanılmıştır.



3 BULGULAR

3.1 Temel Stres Parametrelerine (Fizyolojik Özelliklerine) İlişkin Bulgular

3.1.1 Nisbi Su İçeriğine (RWC) İlişkin Bulgular

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlere bağlı olarak nisbi su içeriklerinin (RWC) anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p<0,05$) varyans analizi ile ortaya koyulmuştur (Tablo 6).

Tablo 6. Orijin ve sulamaya bağlı RWC'ye (%) ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Doğrusal Model	5179,39	11	470,85	1399,23	0,00
Etkileşim	618343,07	1	618343,07	1837525,25	0,00
Orijin	3212,50	3	1070,83	3182,19	0,00
Sulama	1518,95	2	759,47	2256,92	0,00
Orijin*Sulama	447,94	6	74,66	221,86	0,00
Hata	36,34	108	0,34		
Toplam	623558,80	120			
Düzeltilmiş Toplam	5215,73	119			

Tablo 6'da verildiği gibi yapılan varyans analiziyle, sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı olarak nisbi su içerikleri arasındaki farkların istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca Orijin*Sulama etkileşimine bağlı olarak da nisbi su içerikleri arasında %99 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Her bir orijinin, sulama rejimleri arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de her orijinin kendi sulama rejimleri arasında farklı gruplar oluşturdukları Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 7. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı RWC (%) ilişkin sonuçlar

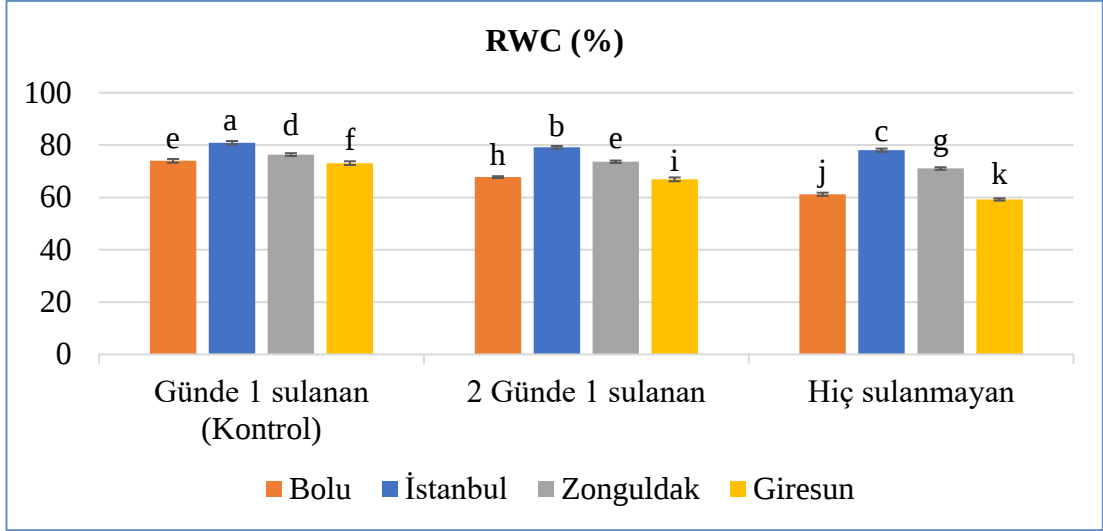
Orijinler	Sulama rejimleri	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Bolu	Günde 1 sulanan (kontrol)	73,99 $\pm$ 0,73	1196,71	0,00
	2 Günde 1 sulanan	67,77 $\pm$ 0,36		
	Hiç sulanmayan	61,21 $\pm$ 0,61		
İstanbul	Günde 1 sulanan (kontrol)	80,93 $\pm$ 0,63	60,83	0,00
	2 Günde 1 sulanan	79,14 $\pm$ 0,53		
	Hiç sulanmayan	78,06 $\pm$ 0,6		
Zonguldak	Günde 1 sulanan (kontrol)	76,38 $\pm$ 0,53	286,85	0,00
	2 Günde 1 sulanan	73,63 $\pm$ 0,47		
	Hiç sulanmayan	71,05 $\pm$ 0,49		
Giresun	Günde 1 sulanan (kontrol)	73,11 $\pm$ 0,71	1174,11	0,00
	2 Günde 1 sulanan	66,91 $\pm$ 0,73		
	Hiç sulanmayan	59,23 $\pm$ 0,45		

Sulama rejimleri göre, orijinler arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de oluşturulan gruplar Tablo 8’de görülmektedir. Duncan testine göre 11 farklı grup olduğu belirlenmiştir. Bolu-kontrol ile Zonguldak-2 günde 1 sulanan rejimleri aynı grupta diğerleri farklı gruplarda yer almaktadır. Orijinlerin RWC’ye ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 28).

Tablo 8. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı olarak RWC (%) ilişkin sonuçlar

Sulama rejimleri	Orijinler	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Günde 1 sulanan (kontrol)	Bolu	73,99 $\pm$ 0,73 ^{e*}	1399.23	,000
	İstanbul	80,93 $\pm$ 0,63 ^a		
	Zonguldak	76,38 $\pm$ 0,53 ^d		
	Giresun	73,11 $\pm$ 0,71 ^f		
2 Günde 1 sulanan	Bolu	67,77 $\pm$ 0,36 ^h		
	İstanbul	79,14 $\pm$ 0,53 ^b		
	Zonguldak	73,63 $\pm$ 0,47 ^e		
	Giresun	66,91 $\pm$ 0,73 ⁱ		
Hiç sulanmayan	Bolu	61,21 $\pm$ 0,61 ^j		
	İstanbul	78,06 $\pm$ 0,6 ^c		
	Zonguldak	71,05 $\pm$ 0,49 ^g		
	Giresun	59,23 $\pm$ 0,45 ^k		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.



Şekil 28. Orijinlere göre RWC değişimlerini gösteren diyagram

Şekil 28’de görüldüğü gibi nisbi su içerikleri (%) ortalama değerleri 80,93 ile 59,23 arasında değişmektedir. Tüm orijinlerin hiç sulanmadığı ve 2 günde 1 sulandığı rejimlerinde beklediği şekilde kontrol rejimine kıyasla nisbi su içeriklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bütün orijinlerde günde 1 sulama (kontrol) yapılan fidanların en fazla nisbi su içeriklerine sahip oldukları belirtilmiştir. Nisbi su içeriği, hiç sulanmayan rejimde en fazla İstanbul (180 m) orijininde, en az Giresun (1290 m) orijininde belirlenmiştir. Sonuç olarak; nisbi su içeriği kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda, kontrol grubuna göre, her orijinde azaldığı fakat İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre bu değişimin az olduğu görülmüştür.

3.1.2 Toplam Klorofil İçeriği Optik Yöntem SPAD (CCI) İlişkin Bulgular

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlere bağlı olarak toplam klorofil içeriklerinin anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p < 0,05$) varyans analizi ile ortaya koyulmuştur (Tablo 9).

Tablo 9. Orijin ve sulamaya bağı SPAD (CCI) ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Doğrusal Model	18901,98	11	1718,36	5560,92	0,00
Etkileşim	404004,95	1	404004,95	1307430,50	0,00
Orijin	17260,47	3	5753,49	18619,30	0,00
Sulama	1465,25	2	732,62	2370,90	0,00
Orijin*Sulama	96,38	6	16,06	51,98	0,00
Hata	139,05	450	0,31		
Toplam	440808,29	462			
Düzeltilmiş Toplam	19041,03	461			

Tablo 9’da verildiği gibi yapılan varyans analiziyle, sulama rejimlerine ve orijinlere bağı olarak toplam klorofil içerikleri arasındaki farkların istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca Orijin*Sulama etkileşimine bağı olarak da toplam klorofil içeriklerinde %99 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Her bir orijinin, sulama rejimleri arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de her orijinin kendi sulama rejimleri arasında farklı gruplar oluşturdukları Tablo 10’da görülmektedir.

Tablo 10. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağı SPAD (CCI) sonuçları

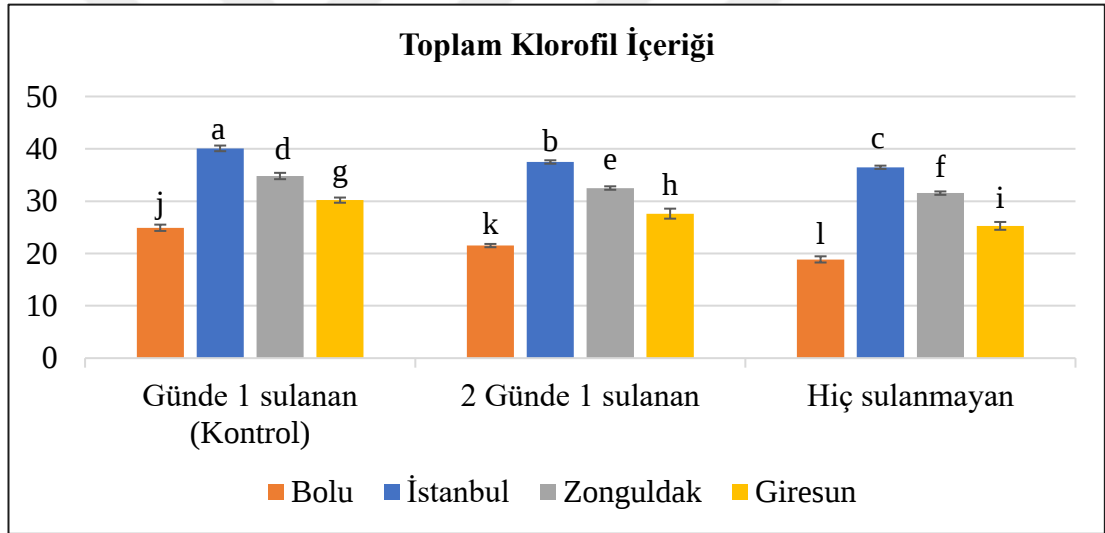
Orijinler	Sulama rejimleri	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Bolu	Günde 1 sulanan (kontrol)	24,91 $\pm$ 0,6	1263,56	0,00
	2 Günde 1 sulanan	21,51 $\pm$ 0,31		
	Hiç sulanmayan	18,87 $\pm$ 0,59		
İstanbul	Günde 1 sulanan (kontrol)	40,09 $\pm$ 0,54	906,40	0,00
	2 Günde 1 sulanan	37,49 $\pm$ 0,33		
	Hiç sulanmayan	36,47 $\pm$ 0,31		
Zonguldak	Günde 1 sulanan (kontrol)	34,81 $\pm$ 0,61	425,99	0,00
	2 Günde 1 sulanan	32,51 $\pm$ 0,33		
	Hiç sulanmayan	31,53 $\pm$ 0,33		
Giresun	Günde 1 sulanan (kontrol)	30,2 $\pm$ 0,49	414,57	0,00
	2 Günde 1 sulanan	27,61 $\pm$ 0,96		
	Hiç sulanmayan	25,28 $\pm$ 0,75		

Sulama rejimleri göre, orijinler arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de oluşturulan gruplar Tablo 11’de görülmektedir. Duncan testine göre 12 farklı grup oluşturdukları belirlenmiştir. Orijinlerin klorofil içeriklerine ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 29).

Tablo 11. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağı SPAD (CCI) sonuçları

Sulama rejimleri	Orijinler	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Günde 1 sulanan (kontrol)	Bolu	24,91 $\pm$ 0,6 ⁱ *	5560,92	0,00
	İstanbul	40,09 $\pm$ 0,54 ^a		
	Zonguldak	34,81 $\pm$ 0,61 ^d		
	Giresun	30,2 $\pm$ 0,49 ^g		
2 Günde 1 sulanan	Bolu	21,51 $\pm$ 0,31 ^k		
	İstanbul	37,49 $\pm$ 0,33 ^b		
	Zonguldak	32,51 $\pm$ 0,33 ^e		
	Giresun	27,61 $\pm$ 0,96 ^h		
Hiç sulanmayan	Bolu	18,87 $\pm$ 0,59 ^l		
	İstanbul	36,47 $\pm$ 0,31 ^c		
	Zonguldak	31,53 $\pm$ 0,33 ^f		
	Giresun	25,28 $\pm$ 0,75 ⁱ		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.



Şekil 29. Orijinlere göre klorofil içeriğindeki değişimlerini gösteren diyagram

Şekil 29'da görüldüğü gibi toplam klorofil içeriklerinin ortalama değerleri 40,09 CCI ile 18,87 CCI arasında değişmektedir. Tüm orijinlerin hiç sulanmayan ve 2 günde 1 sulanan rejimlerinde beklendiği şekilde kontrol rejimine göre klorofil içeriklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bütün orijinlerde günde 1 sulama (kontrol) yapılan fidanların en fazla klorofil içeriğine sahip oldukları belirtilmiştir. Klorofil içeriği hiç sulanmayan rejimde en yüksek İstanbul (180 m) orijininde, en az Bolu (875 m) orijininde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak; klorofil içeriği kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda, kontrol grubuna göre, her orijinde azaldığı fakat İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre bu değişimin az olduğu görülmüştür.

3.1.3 Klorofil Floresansına (Fv/Fm) İlişkin Bulgular

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlere bağlı olarak klorofil floresanslarının anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p<0,05$) varyans analizi ile ortaya koyulmuştur (Tablo 12).

Tablo 12. Orijin ve sulamaya bağlı Fv/Fm ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Doğrusal Model	3,10	11,00	0,28	695,55	0,00
Etkileşim	68,25	1,00	68,25	168461,65	0,00
Orijin	1,01	3,00	0,34	830,16	0,00
Sulama	1,67	2,00	0,84	2064,19	0,00
Orijin*Sulama	0,42	6,00	0,07	172,04	0,00
Hata	0,07	168,00	0,00		
Toplam	71,41	180,00			
Düzeltilmiş Toplam	3,17	179,00			

Tablo 12’de verildiği gibi yapılan varyans analiziyle, sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı olarak Fv/Fm oranları arasındaki farkların istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca Orijin*Sulama etkileşimine bağlı olarak da Fv/Fm %99 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Her bir orijinin, sulama rejimleri arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de her orijinin kendi sulama rejimleri arasında farklı gruplar oluşturdukları Tablo 13’te görülmektedir.

Tablo 13. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı Fv/Fm sonuçları

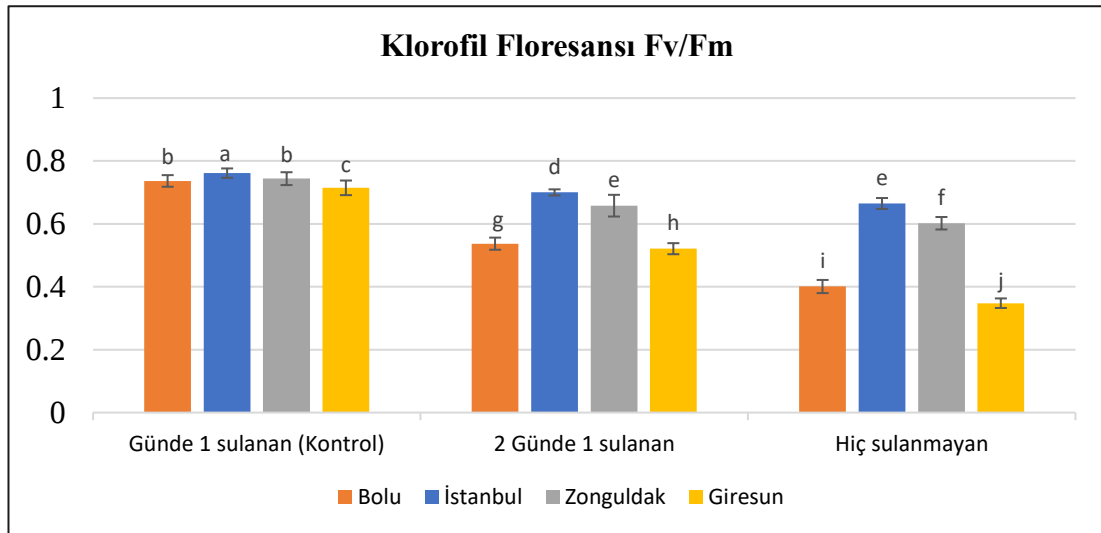
Orijinler	Sulama rejimleri	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Bolu	Günde 1 sulanan (kontrol)	0,74 $\pm$ 0,02	1112,16	0,00
	2 Günde 1 sulanan	0,54 $\pm$ 0,02		
	Hiç sulanmayan	0,4 $\pm$ 0,02		
İstanbul	Günde 1 sulanan (kontrol)	0,76 $\pm$ 0,01	172,97	0,00
	2 Günde 1 sulanan	0,7 $\pm$ 0,01		
	Hiç sulanmayan	0,66 $\pm$ 0,02		
Zonguldak	Günde 1 sulanan (kontrol)	0,74 $\pm$ 0,02	114,68	0,00
	2 Günde 1 sulanan	0,66 $\pm$ 0,03		
	Hiç sulanmayan	0,6 $\pm$ 0,02		
Giresun	Günde 1 sulanan (kontrol)	0,71 $\pm$ 0,02	1399,61	0,00
	2 Günde 1 sulanan	0,52 $\pm$ 0,02		
	Hiç sulanmayan	0,35 $\pm$ 0,02		

Sulama rejimleri göre, orijinler arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de oluşturulan gruplar Tablo 14'te görülmektedir. Duncan testi sonucunda 10 farklı grup oluşturdukları belirlenmiştir. Bolu-Zonguldak orijinlerinin kontrol rejimleri aynı grupta diğerleri farklı grupta yer almaktadır. Orijinlerin Fv/Fm ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 30).

Tablo 14. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı Fv/Fm sonuçları

Sulama grupları	Orijinler	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Günde 1 sulanan (kontrol)	Bolu	0,74 $\pm$ 0,02 ^{b*}	695,55	,000
	İstanbul	0,76 $\pm$ 0,01 ^a		
	Zonguldak	0,74 $\pm$ 0,02 ^b		
	Giresun	0,71 $\pm$ 0,02 ^c		
2 Günde 1 sulanan	Bolu	0,54 $\pm$ 0,02 ^g		
	İstanbul	0,7 $\pm$ 0,01 ^d		
	Zonguldak	0,66 $\pm$ 0,03 ^e		
	Giresun	0,52 $\pm$ 0,02 ^h		
Hiç sulanmayan	Bolu	0,4 $\pm$ 0,02 ⁱ		
	İstanbul	0,66 $\pm$ 0,02 ^e		
	Zonguldak	0,6 $\pm$ 0,02 ^f		
	Giresun	0,35 $\pm$ 0,02 ^j		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.



Şekil 30. Orijinlere göre Fv/Fm değişimlerini gösteren diyagram

Şekil 30'da görüldüğü gibi klorofil floresanslarının ortalama değerleri 0,76 ile 0,35 arasında değişmektedir. Tüm orijinlerin hiç sulanmayan ve 2 günde 1 sulanan rejimlerinde beklendiği şekilde kontrol rejimine kıyasla klorofil floresansının azaldığı tespit edilmiştir.

Klorofil floresansı hiç sulanmayan sulama rejiminde en fazla İstanbul (180 m) orijininde, en az Giresun (1290 m) orijininde belirlenmiştir. Sonuçta; Fv/Fm kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda, kontrol grubuna göre, her orijinde azaldığı fakat İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre bu değişimin az olduğu görülmüştür.

3.1.4 Hidrojen Peroksit İçeriğine (H₂O₂) İlişkin Bulgular

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlere bağlı olarak H₂O₂ içeriklerinin anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak (p<0,05) varyans analizi ile ortaya koyulmuştur (Tablo 15).

Tablo 15. Orijin ve sulamaya göre H₂O₂ (nmol g⁻¹TA) varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Doğrusal Model	44579664715,12	11,00	4052696792,28	117305,77	0,00
Etkileşim	125799084684,81	1,00	125799084684,81	3641268,70	0,00
Orijin	8978422596,35	3,00	2992807532,12	86627,15	0,00
Sulama	31647282647,07	2,00	15823641323,54	458017,08	0,00
Orijin*Sulama	3953959471,71	6,00	658993245,28	19074,63	0,00
Hata	829155,52	24,00	34548,15		
Toplam	170379578555,45	36,00			
Düzeltilmiş Toplam	44580493870,64	35,00			

Tablo 15'te verildiği gibi yapılan varyans analiziyle, sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı olarak H₂O₂ içerikleri arasındaki farkların istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca Orijin*Sulama etkileşimine bağlı olarak da H₂O₂ içeriği %99 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Her bir orijinin, sulama rejimleri arasında (p<0,05) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de her orijinin kendi sulama rejimleri arasında farklı gruplar oluşturdukları Tablo 16'da görülmektedir.

Tablo 16. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağı H₂O₂ (nmolg⁻¹TA) içeriği sonuçları

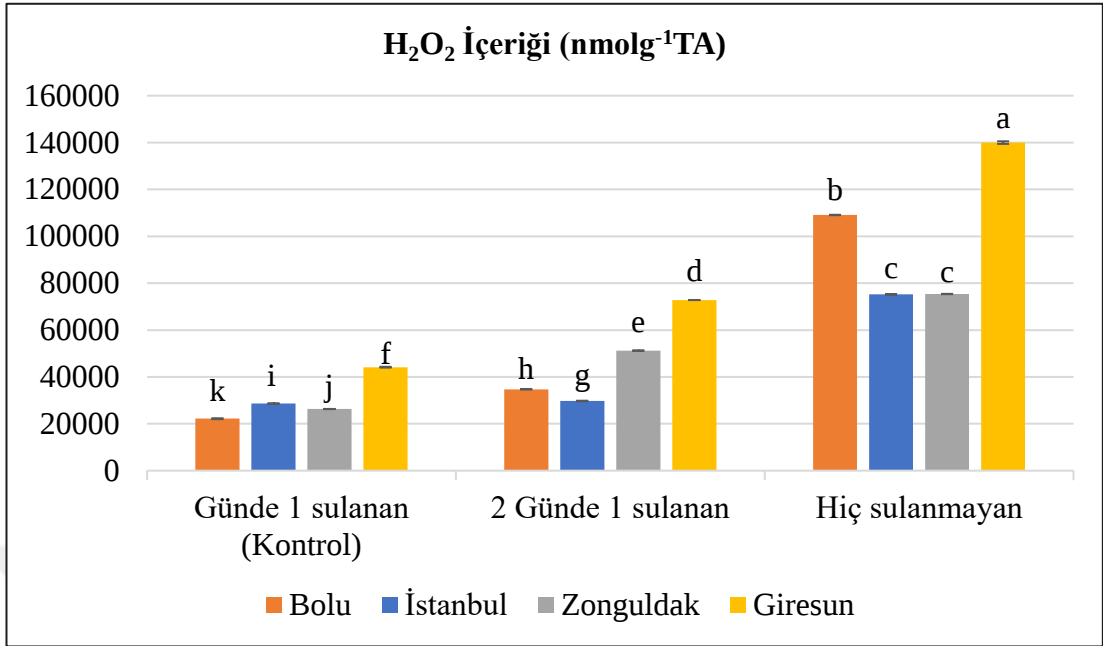
Orijinler	Sulama rejimleri	Ortalama ± Standart sapma	F	P
Bolu	Günde 1 sulanan (kontrol)	22182,22±188,39	351490,88	0,00
	2 Günde 1 sulanan	34735,56±117,39		
	Hiç sulanmayan	109091,11±85,01		
İstanbul	Günde 1 sulanan (kontrol)	28607,78±53,47	440359,22	0,00
	2 Günde 1 sulanan	29754,44±102,22		
	Hiç sulanmayan	75181,11±33,39		
Zonguldak	Günde 1 sulanan (kontrol)	26305,56±39,77	813545,41	0,00
	2 Günde 1 sulanan	51206,67±12,02		
	Hiç sulanmayan	75373,33±70,24		
Giresun	Günde 1 sulanan (kontrol)	44146,67±162,92	64612,17	0,00
	2 Günde 1 sulanan	72804,44±18,36		
	Hiç sulanmayan	139974,44±556,88		

Sulama rejimleri göre, orijinler arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de oluşturulan gruplar Tablo 17’de görülmektedir. Duncan testine göre 11 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir. İstanbul-Zonguldak orijinlerinin hiç sulanmayan rejimleri aynı grupta diğerleri farklı gruplarda yer almaktadır. Orijinlerin hidrojen peroksit ilişkili değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 31).

Tablo 17. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağı H₂O₂’ye (nmolg⁻¹TA) sonuçları

Sulama rejimleri	Orijinler	Ortalama ± Standart sapma	F değeri	Güven düzeyi (P)
Günde 1 sulanan (kontrol)	Bolu	22182,22±188,39 ^{k*}	117305,77	,000
	İstanbul	28607,78±53,47 ⁱ		
	Zonguldak	26305,56±39,77 ^j		
	Giresun	44146,67±162,92 ^f		
2 Günde 1 sulanan	Bolu	34735,56±117,39 ^h		
	İstanbul	29754,44±102,22 ^g		
	Zonguldak	51206,67±12,02 ^e		
	Giresun	72804,44±18,36 ^d		
Hiç sulanmayan	Bolu	109091,11±85,01 ^b		
	İstanbul	75181,11±33,39 ^c		
	Zonguldak	75373,33±70,24 ^c		
	Giresun	139974,44±556,88 ^a		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir,



Şekil 31. Orijinlere göre H₂O₂ (nmol g⁻¹TA) değişimlerini gösteren diyagram

Şekil 31’de görüldüğü gibi, tüm orijinlerin hiç sulanmayan ve 2 günde 1 sulanan rejimlerinde kontrol rejimine kıyasla H₂O₂ içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Bütün orijinlerde günde 1 sulama (kontrol) yapılan fidanların en az H₂O₂ içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir. H₂O₂ içeriği hiç sulanmayan rejimde en az İstanbul (180 m) orijininde, en fazla Giresun (1290 m) orijininde belirtilmiştir. Sonuç olarak; her orijinde H₂O₂ içeriği, kontrol grubuna kıyasla kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda arttığı ama İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre bu değişimin az olduğu görülmüştür.

3.1.4.1 Lipid Peroksidasyonu Seviyesine (MDA) İlişkin Bulgular

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlere bağlı olarak MDA seviyelerinin anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p < 0,05$) varyans analiziyle belirlenmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Orijin ve sulamaya göre MDA ($\mu\text{molg}^{-1}\text{TA}$) varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Doğrusal Model	81,31	11	7,39	649,25	0,00
Etkileşim	2702,70	1	2702,70	237398,89	0,00
Orijin	10,94	3	3,65	320,44	0,00
Sulama	65,44	2	32,72	2874,26	0,00
Orijin*Sulama	4,92	6	0,82	71,99	0,00
Hata	0,27	24	0,01		
Toplam	2784,28	36			
Düzeltilmiş Toplam	81,58	35			

Tablo 18’de verildiği gibi yapılan varyans analiziyle, sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı olarak MDA seviyeleri arasındaki farkların istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca Orijin*Sulama etkileşimine bağlı olarak da MDA seviyesinde %99 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Her bir orijinin, sulama rejimleri arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de her orijinin kendi sulama rejimleri arasında farklı gruplar oluşturdukları Tablo 19’da görülmektedir.

Tablo 19. Orijinlere ve sulama rejimlerine bağlı MDA ($\mu\text{molg}^{-1}\text{TA}$) sonuçları

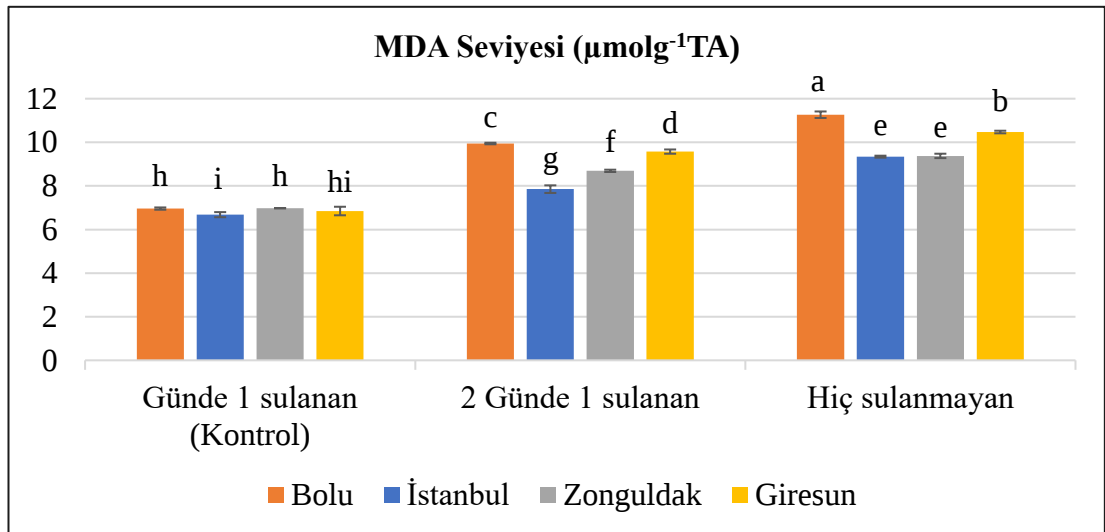
Orijinler	Sulama rejimleri	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Bolu	Günde 1 sulanan (kontrol)	6,96 $\pm$ 0,05	1658,32	0,00
	2 Günde 1 sulanan	9,94 $\pm$ 0,04		
	Hiç sulanmayan	11,26 $\pm$ 0,15		
İstanbul	Günde 1 sulanan (kontrol)	6,68 $\pm$ 0,12	347,49	0,00
	2 Günde 1 sulanan	7,85 $\pm$ 0,17		
	Hiç sulanmayan	9,34 $\pm$ 0,04		
Zonguldak	Günde 1 sulanan (kontrol)	6,98 $\pm$ 0,01	1071,57	0,00
	2 Günde 1 sulanan	8,69 $\pm$ 0,05		
	Hiç sulanmayan	9,38 $\pm$ 0,1		
Giresun	Günde 1 sulanan (kontrol)	6,85 $\pm$ 0,2	623,59	0,00
	2 Günde 1 sulanan	9,57 $\pm$ 0,1		
	Hiç sulanmayan	10,47 $\pm$ 0,06		

Sulama rejimleri göre, orijinler arasında ($p<0,05$) anlamlı farklılıkların olduğu, Duncan testine göre de oluşturulan gruplar Tablo 20’de görülmektedir. Duncan testi sonucunda 9 farklı grup oluşturdıkları tespit edilmiştir. İstanbul-Giresun ile Bolu-Zonguldak-Giresun orijinlerinin kontrol rejimleri; İstanbul-Zonguldak orijinlerinin hiç sulanmayan rejimleri aynı grupta diğerleri farklı gruplarda yer almaktadır. Orijinlerin MDA seviyesine ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 32).

Tablo 20. Sulama rejimlerine ve orijinlere bağlı MDA ($\mu\text{molg}^{-1}\text{TA}$) sonuçları

Sulama rejimleri	Orijinler	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F	P
Günde 1 sulanan (kontrol)	Bolu	6,96 $\pm$ 0,05 ^{h*}	649.25	,000
	İstanbul	6,68 $\pm$ 0,12 ⁱ		
	Zonguldak	6,98 $\pm$ 0,01 ^h		
	Giresun	6,85 $\pm$ 0,2 ^{hi}		
2 Günde 1 sulanan	Bolu	9,94 $\pm$ 0,04 ^c		
	İstanbul	7,85 $\pm$ 0,17 ^g		
	Zonguldak	8,69 $\pm$ 0,05 ^f		
	Giresun	9,57 $\pm$ 0,1 ^d		
Hiç sulanmayan	Bolu	11,26 $\pm$ 0,15 ^a		
	İstanbul	9,34 $\pm$ 0,04 ^e		
	Zonguldak	9,38 $\pm$ 0,1 ^e		
	Giresun	10,47 $\pm$ 0,06 ^b		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.



Şekil 32. Orijinlere göre MDA ($\mu\text{molg}^{-1}\text{TA}$) değişimlerini gösteren diyagram

Şekil 32’de görüldüğü gibi, tüm orijinlerin hiç sulanmayan ve 2 günde 1 sulanan rejimlerinde kontrol rejimine kıyasla MDA seviyesinin arttığı tespit edilmiştir. Bütün orijinlerde günde 1 sulama (kontrol) yapılan fidanların en az MDA seviyesine sahip oldukları belirtilmiştir. MDA seviyesi, hiç sulanmayan sulama rejiminde en düşük İstanbul (180 m) orijininde, en yüksek Bolu (875 m) orijininde belirlenmiştir. Sonuçta; her orijinde MDA seviyesi, kontrol grubuna kıyasla kuraklık stresine maruz bırakılan gruplarda arttığı ama İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre bu değişimin az olduğu görülmüştür.

3.2 Morfolojik Özelliklere (Büyüme Parametrelerine) İlişkin Bulgular

3.2.1 Fidan Boyuna (FB) (cm) İlişkin Bulgular

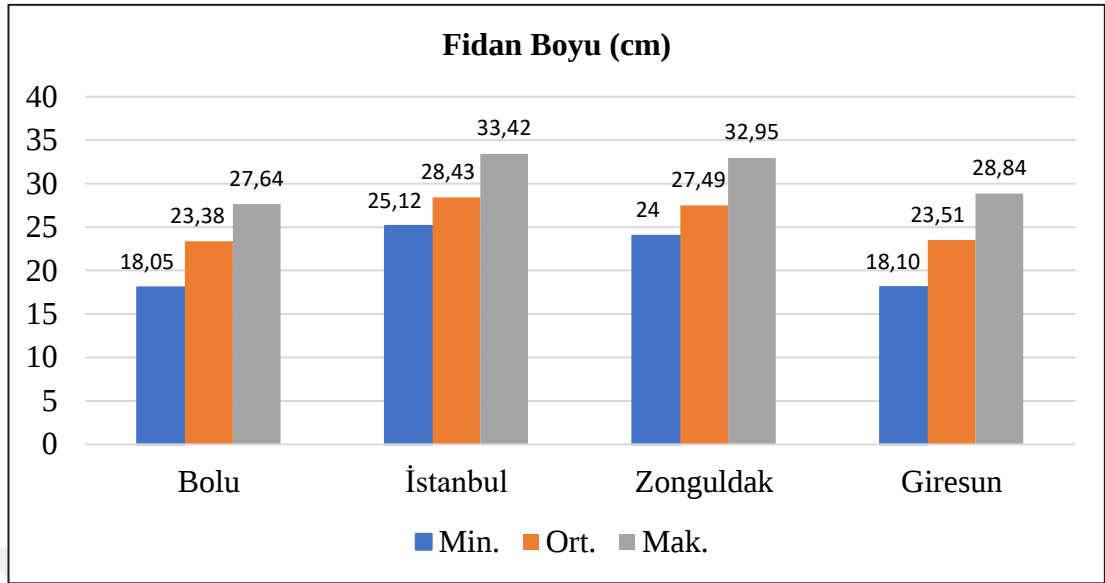
Orijinlerin fidan boylarına (cm) ilişkin minimum, maksimum, ortalama değerleri ile FB bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p<0,05$) varyans analizi ile belirlenmiş ve Tablo 21’de gösterilmiştir.

Tablo 21. Fidan boylarına (cm) ilişkin sonuçlar

Orijinler	Min.	Mak.	Ortalama $\pm$ Standart sapma(cm)	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Bolu	18,05	27,64	23,38 $\pm$ 3,28 ^{b*}	34,44	0,00
İstanbul	25,12	33,42	28,43 $\pm$ 2,27 ^a		
Zonguldak	24	32,95	27,49 $\pm$ 2,47 ^a		
Giresun	18,1	28,84	23,51 $\pm$ 3,79 ^b		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.

Orijinlere ait fidan boyları (cm) ortalama değerleri 23,38 cm ile 28,43 cm; maksimum değerleri 27,64 cm ile 33,42 cm; minimum değerleri ise 18,1 cm ile 25,12 cm arasında değişmektedir. En uzun ortalama fidan boyu İstanbul (180 m) orijininde, en kısa fidan boyu ise Bolu (875 m) orijininde gözlenmiştir. Tüm orijinlerin ortalama fidan boyu 25,70 cm, maksimum fidan boyu İstanbul (180 m) orijininde 33,42 cm, minimum fidan boyu ise Giresun (1290 m) orijininde 18,1 cm’dir. Yapılan varyans analiziyle, FB açısından orijinler arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 21). Orijinlerin fidan boylarına ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 33).



Şekil 33. Orijinlere göre fidan boylarındaki değişimleri gösteren diyagram

Şekil 33'te her bir orijinin FB'lerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Varyans analiziyle, orijinlerin, FB'leri birbirinden farklı olduğu görüldükten sonra, bu farklılıkların hangi gruplarda yer aldığı için yapılan Duncan testine göre 2 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir. İstanbul (180 m) ile Zonguldak (500 m) orijinleri, Bolu (875 m) ile Giresun (1290 m) orijinleri aynı grupta yer almaktadırlar.

3.2.2 Kök Boğazı Çapına (KBC) (mm) İlişkin Bulgular

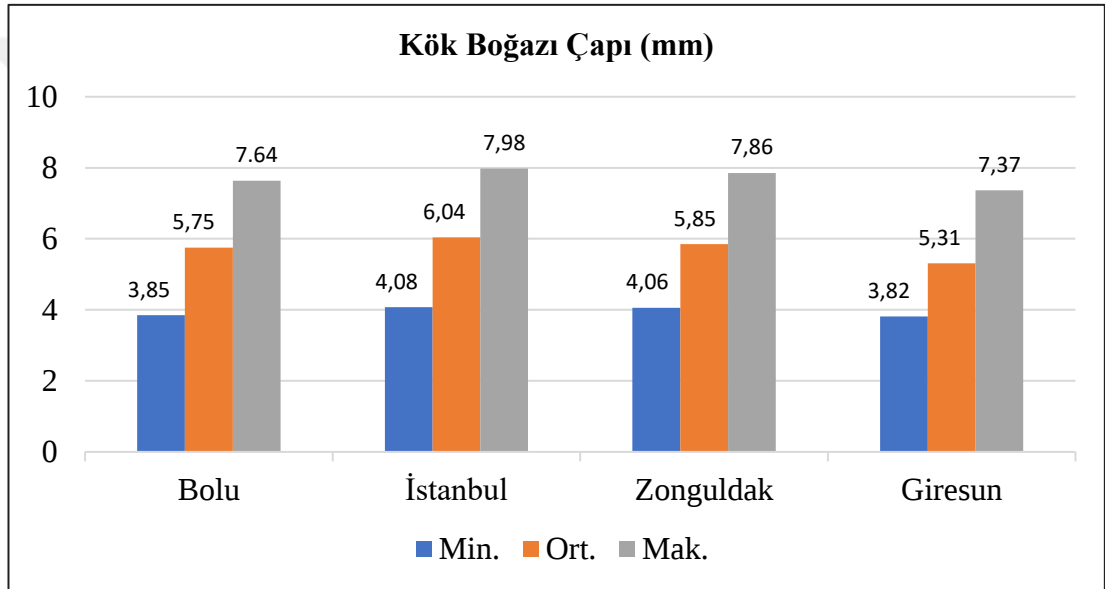
Orijinlerin kök boğazı çaplarına (mm) ilişkin minimum, maksimum, ortalama değerleri ile KBC bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p < 0,05$) varyans analiziyle belirlenmiştir ve Tablo 22'de gösterilmiştir.

Tablo 22. Kök boğazı çaplarının (mm) ilişkin sonuçlar

Orijinler	Min.	Mak.	Ortalama $\pm$ Standart sapma	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Bolu	3,85	7,64	5,75 $\pm$ 0,92 ^{a*}	5,02	0,00
İstanbul	4,08	7,98	6,04 $\pm$ 0,95 ^a		
Zonguldak	4,06	7,86	5,85 $\pm$ 0,89 ^a		
Giresun	3,82	7,37	5,31 $\pm$ 0,93 ^b		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.

Orijinlere ait KBÇ'ları ortalama değerleri 5,31 mm ile 6,04 mm; maksimum değerleri 7,37 cm ile 7,98 cm; minimum değerleri 3,82 cm ile 4,08 cm arasında değişmektedir. En uzun ortalama kök boğazı çapları İstanbul (180 m) orijininde, en kısa fidan boyu ise Giresun (1290 m) orijininde gözlenmiştir. Tüm orijinlerin ortalama kök boğazı çapları (mm) 5,74 mm, maksimum KBÇ'ı İstanbul (180 m) orijininde 7,98 mm, minimum KBÇ'ı ise Giresun (1290 m) orijininde 3,82 mm'dir. Yapılan varyans analiziyle, KBÇ'ları açısından orijinler arasında istatistiksel olarak ($p < 0,05$) anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 22). Orijinlerin KBÇ'larına ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 34).



Şekil 34. Orijinlere göre kök boğazı çaplarındaki değişimleri gösteren diyagram

Şekil 34'te her bir orijinin KBÇ'larının minimum, maksimum ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Varyans analiziyle, orijinlerin, KBÇ'ları birbirinden farklı olduğu görüldükten sonra, bu farklılıkların hangi gruplarda yer aldığının tespiti için yapılan Duncan testine göre 2 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir. İstanbul (180 m), Zonguldak (500 m) orijinleri ve Bolu (875 m) orijinleri aynı grupta, Giresun (1290 m) orijini farklı grupta yer almaktadır.

3.2.3 Yan dal Sayısına İlişkin Bulgular

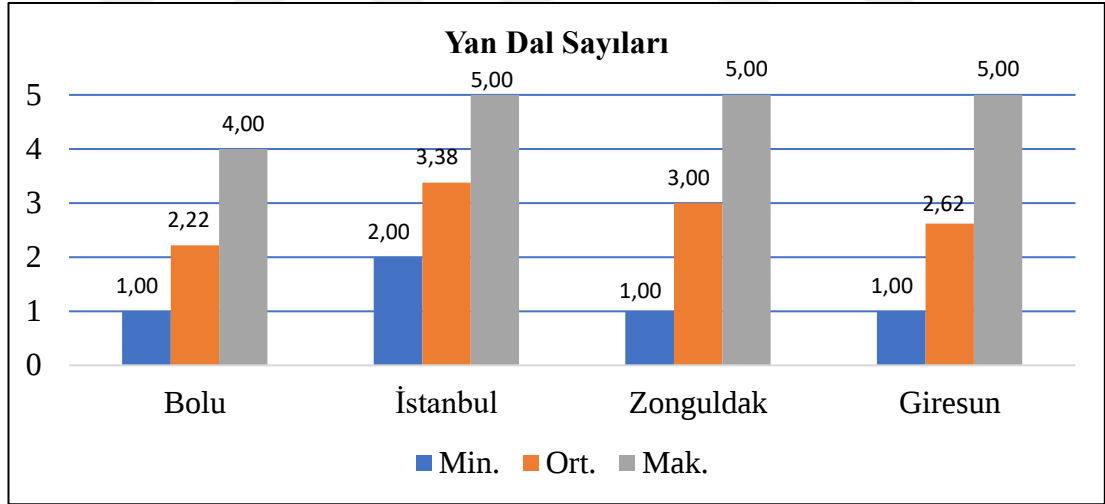
Orijinlerin yan dal sayılarına ilişkin minimum, maksimum, ortalama değerleri ile yan dal sayıları bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p<0,05$) varyans analizi ile belirlenmiştir ve Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23. Yan dal sayılarına ilişkin sonuçlar

Orijinler	Min.	Mak.	Ortalama $\pm$ Standart sapma(cm)	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Bolu	1	4	2,22 $\pm$ 0,93 ^{c*}	11.15	0.00
İstanbul	2	5	3,38 $\pm$ 0,91 ^a		
Zonguldak	1	5	3 $\pm$ 1,11 ^{ab}		
Giresun	1	5	2,62 $\pm$ 1,03 ^{bc}		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.

Orijinlere ait yan dal sayıları ortalama değerleri 3,38 ile 2,22 arasında değişmektedir. Yapılan varyans analiziyle, yan dal sayıları açısından orijinler arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 23). Orijinlerin yan dal sayılarına ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Orijinlere göre yan dal sayılarındaki değişimleri gösteren diyagram

Şekil 35'te her bir orijinin yan dal sayılarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Varyans analiziyle, orijinlerin, yan dal sayıları birbirinden farklı olduğu görüldükten sonra, bu farklılıkların hangi gruplarda yer aldığının tespiti için yapılan Duncan testine göre 3 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir. İstanbul (180 m) orijini ile Zonguldak (500 m) orijini; Zonguldak (500 m) orijini ile Giresun (1290 m) orijini; Bolu orijini ile Giresun orijini aynı gruplarda yer almaktadır.

3.2.4 Kök Hacmine (cm³) İlişkin Bulgular

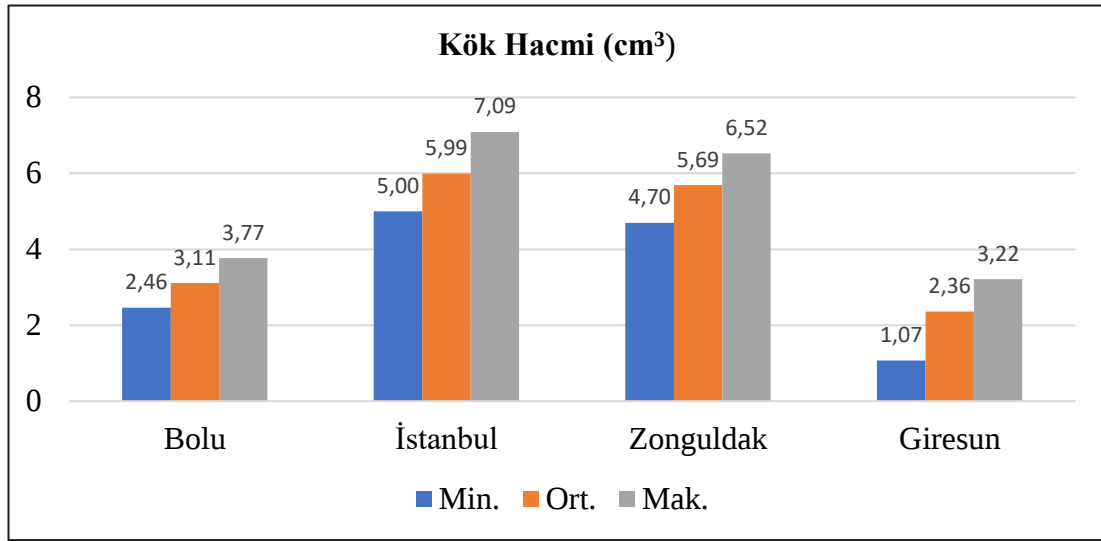
Orijinlerin kök hacimlerine (cm³) ilişkin minimum, maksimum, ortalama değerleri ile kök hacimleri (cm³) bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p<0,05$) varyans analizi ile belirlenmiştir ve Tablo 24'te gösterilmiştir.

Tablo 24. Kök hacimlerine (cm³) ilişkin sonuçlar

Orijinler	Min.	Mak.	Ortalama $\pm$ Standart sapma(cm ³)	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Bolu	2,46	3,77	3,11 $\pm$ 0,29 ^{c*}	578,77	0,00
İstanbul	5	7,09	5,99 $\pm$ 0,62 ^a		
Zonguldak	4,7	6,52	5,69 $\pm$ 0,53 ^b		
Giresun	1,07	3,21	2,36 $\pm$ 0,53 ^d		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.

Orijinlere ait kök hacimlerinin cm³ ortalama değerleri 2,36 cm³ ile 5,99 cm³; maksimum değerleri 3,21 cm³ ile 7,09 cm³; minimum değerleri 1,07 cm³ ile 5 cm³ arasında değişmektedir. En çok ortalama kök hacmi İstanbul (180 m) orijininde, en az kök hacmi ise Giresun (1290 m) orijininde gözlenmiştir. Tüm orijinlerin ortalama kök hacmi 4,28 (cm³), maksimum kök hacmi İstanbul (180 m) orijininde 7,09 cm³, minimum kök hacmi ise Giresun (1290) orijininde 1,07 cm³'dir. Yapılan varyans analiziyle, kök hacimleri açısından orijinler arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 24). Orijinlerin kök hacimlerine ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 36).



Şekil 36. Orijinlere göre kök hacmindeki değişimleri gösteren diyagram

Şekil 36’da her bir orijinin kök hacimlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Varyans analiziyle, orijinlerin, kök hacimleri birbirinden farklı olduğu görüldükten sonra, bu farklılıkların hangi gruplarda yer aldığının tespiti için yapılan Duncan testine göre 4 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir.

3.2.5 Kök Alanına (cm²) İlişkin Bulgular

Orijinlerin kök alanlarına (cm²) ilişkin minimum, maksimum, ortalama değerleri ile kök alanları (cm²) bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak ($p < 0,05$) varyans analizi ile belirlenmiştir ve Tablo 25’de gösterilmiştir.

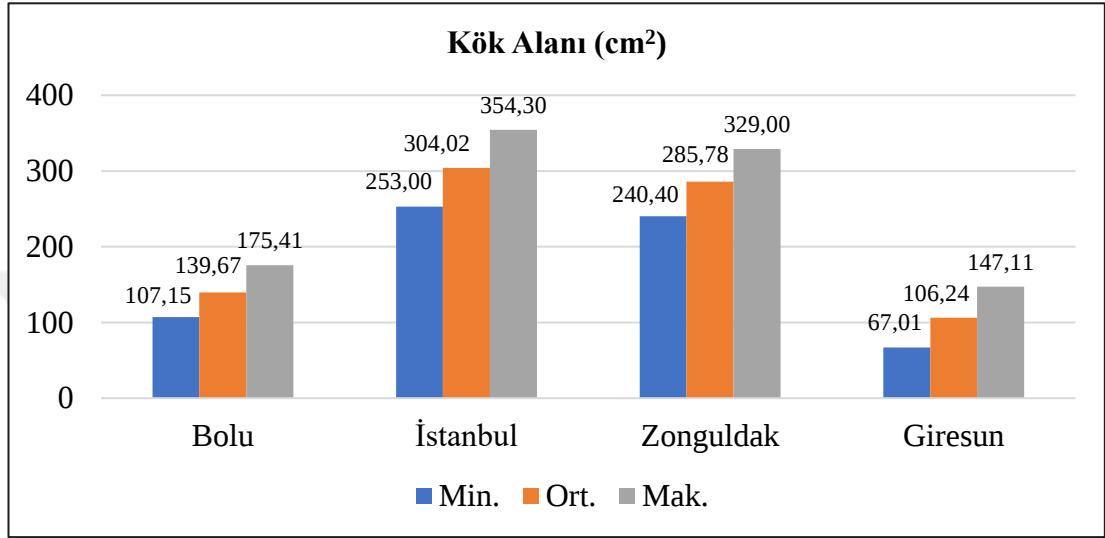
Tablo 25. Kök alanlarına (cm²) ilişkin sonuçlar

Orijinler	Min.	Mak.	Ortalama ± Standart sapma(cm ²)	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Bolu	107,15	175,41	139,67±19,19 ^{c*}	818,29	0,00
İstanbul	253	354,3	304,02±30,59 ^a		
Zonguldak	240,4	329	285,78±22,84 ^b		
Giresun	67,01	147,11	106,24±19,88 ^d		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.

Orijinlere ait kök alanlarının cm² ortalama değerleri 106,24 cm² ile 304,02 cm²; maksimum değerleri 147,11 cm² ile 354,3 cm²; minimum değerleri 67,01 cm² ile 253 cm² arasında değişmektedir. En çok ortalama kök alanı İstanbul (180 m) orijininde, en az kök alanı ise Giresun (1290 m) orijininde gözlenmiştir.

Tüm orijinlerin ortalama kök alanı 208,92 (cm²), maksimum kök alanı İstanbul (180 m) orijininde 354,3 cm², minimum kök alanı ise Giresun (1290 m) orijininde 67 cm²'dir. Yapılan varyans analiziyle, kök alanları açısından orijinler arasında istatistiksel olarak (p<0,05) anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 25). Orijinlerin kök alanına ilişkin değişimleri aşağıda verilmiştir (Şekil 37).



Şekil 37. Orijinlere göre kök alanlarındaki değişimleri gösteren diyagram

Şekil 37’de her bir orijinin kök alanlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Varyans analiziyle, orijinlerin, kök alanları birbirinden farklı olduğu görüldükten sonra, bu farklılıkların hangi gruplarda yer aldığının tespiti için yapılan Duncan testine göre 4 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir.

3.2.6 Kök Uzunluğuna (cm) İlişkin Bulgular

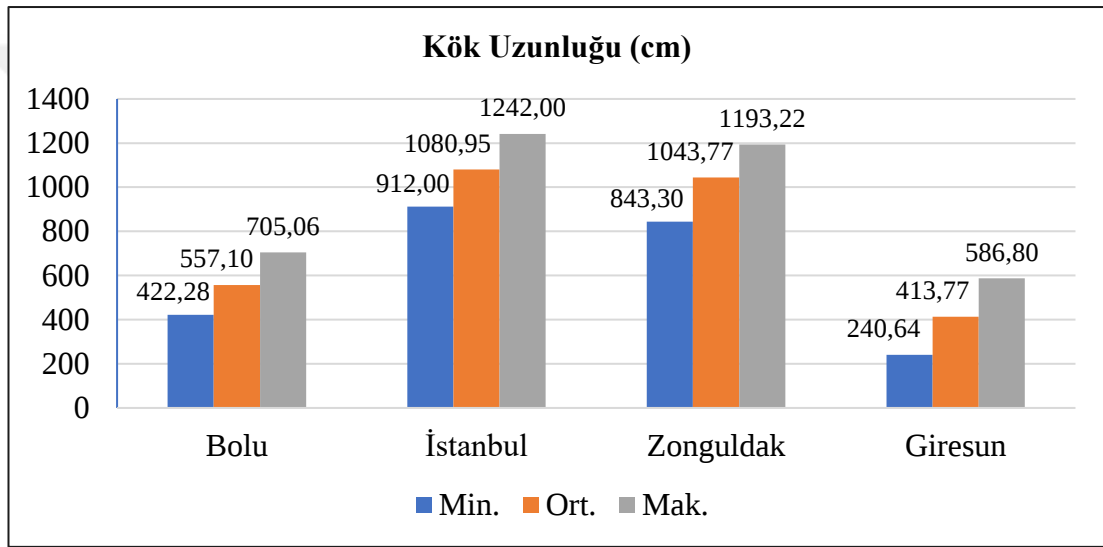
Orijinlerin kök uzunluklarına (cm) ilişkin minimum, maksimum, ortalama değerleri ile kök uzunlukları (cm) bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıklar oluşturup oluşturmadığı istatistiksel olarak (p<0,05) varyans analizi ile belirlenmiştir ve Tablo 26’da gösterilmiştir.

Tablo 26. Kök uzunluklarına (cm) ilişkin sonuçlar

Orijinler	Min.	Mak.	Ortalama ± Standart sapma(cm)	F Değeri	Önem Düzeyi (p)
Bolu	422,28	705,06	557,1±74 ^{b*}	606,74	0,00
İstanbul	912	1242	1080,95±96,24 ^a		
Zonguldak	843,3	1193,22	1043,77±96,74 ^a		
Giresun	240,64	586,8	413,77±99,51 ^c		

*Farklı harfler sütunlardaki farklı grupları göstermektedir.

Orijinlere ait kök uzunluğu cm ortalama değerleri 413,77 cm ile 1080,95 cm; maksimum değerleri 586,8 cm ile 1242 cm; minimum değerleri 240,64 cm ile 912 cm arasında değişmektedir. En çok ortalama kök uzunluğu İstanbul (180 m) orijininde, en az kök uzunluğu ise Giresun (1290 m) orijininde gözlenmiştir. Tüm orijinlerin ortalama kök uzunluğu 773,89 (cm), maksimum kök uzunluğu İstanbul (180 m) orijininde 1242 cm, minimum kök uzunluğu ise Giresun (1290 m) orijininde 240,64 cm'dir. Yapılan varyans analiziyle, kök uzunlukları açısından orijinler arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 26). Orijinlerin kök uzunluğuna ilişkin değişimleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. Orijinlere göre kök uzunluğundaki değişimleri gösteren diyagram

Şekil 38'de her bir orijinin kök uzunluklarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Varyans analiziyle, orijinlerin, kök uzunlukları birbirinden farklı olduğu görüldükten sonra, bu farklılıkların hangi gruplarda yer aldığının tespiti için yapılan Duncan testine göre 4 farklı grup oluşturulduğu belirlenmiştir.

4 TARTIŞMA

4.1 Nisbi Su İçeriğine (RWC) İlişkin Tartışma

Bitkilerde kuraklık stresi şartlarında değişiklik gösteren ve bitkinin su durumunu yansıtan değişkenlerden biri de nisbi su içeriğidir ve kuraklık stresine bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir (Keyvan, 2010; Çelik ve ark., 2017; Hassan ve ark., 2018; Sundararajan ve ark., 2022). RWC'nin bitki su durumunu yansıtan bir gösterge olduğu ifade edilmiştir (Chaves, 1991). Nisbi su içeriği seviyesi, bitkinin kuraklık stresinden etkilenme seviyesini gösteren kullanışlı ve düşük maliyetli bir çözümdür. Bitki-su içeriğinin araştırıldığı çalışmalarda yaprak oransal su boyutunun incelenmesi, bitkinin büyüme aşamasında önemli su seviyesinin tespiti için önemli bir kriterdir (Kırnak ve Demirtaş, 2002). Çalışmamızda benzer şekilde nisbi su içeriği tüm orijinlerde kontrole kıyasla kuraklık stresi uygulamalarında daha az olduğu görülmektedir. Bu azalışlar % olarak şöyledir:

Nisbi su içerikleri, kontrol rejimine kıyasla, 2 günde 1 sulanan rejimde Bolu orijini (%8,41) İstanbul orijini (%2,21), Zonguldak orijini (%3,6), Giresun orijini (%8,48) az; kontrol rejimine kıyasla, hiç sulanmayan rejimde de Bolu orijini (%17,27) İstanbul orijini (%3,55), Zonguldak orijini (%6,99), Giresun orijini (%18,99) az ölçülmüştür. Buna göre; Bolu (875 m), Giresun (1290 m) ve Zonguldak (500 m) orijinleri kuraklık stresine karşı toleransı düşük; İstanbul (180 m) orijini ise kuraklık stresine karşı toleransı yüksek olduğu tespit edilmiştir. RWC ve yaprak su potansiyeli bitki ile su arasındaki ilişkilerinde başlıca etmenlerdendir (Shao ve ark., 2008; Zlatev ve Lidon, 2012). Yaprak su potansiyeli, bitkinin su stresine tepkisini ölçmek için bir göstergedir (Siddique ve ark., 2000). Kuraklık döneminde yaprak su potansiyeli değerlerinin düşük olduğu belirtilmiştir (Rhizopoulou ve Mitrakos, 1990). Bitkilere verilen su miktarı azaldıkça yaprak oransal su içeriğinde de bir azalma olduğu ifade edilmiştir (Kaya, 2011). Kuraklığın etkilerinin bitkiler üzerindeki göstergelerden bir tanesi RWC seviyesinin azalmasıdır (Farooq ve ark., 2009). RWC hücre hacmi ile alakalı bir parametredir ve bitkilerde terleme hızı ile yaprak dokusunun su rezervi arasındaki dengeyi göstermektedir (Lugojan ve Ciulca 2011; Farquhar ve ark., 1989). RWC seviyesindeki düşüş, yaprak su potansiyelinin de düştüğünü göstermektedir (Lisar ve ark., 2012; Bhargava ve Sawant, 2013).

Fraxinus mandshurica ve *Quercus mongolica* ile yapılan çalışmada, 5 yaşındaki fidanlar alınıp, 29,28 lt (30,0 cm) hacime sahip saksılara dikilmiştir. 3 sulama rejimi (iyi sulanan, orta sulanan, şiddetli kuraklık stresi) oluşturulmuştur. Kuraklık deneyine başlamadan 1 ay boyunca tüm fidanlar sulanmış ve sonra 10 günlük kuraklık stresi denemesi yapılmıştır ve her iki türde de relatif su içeriğinin azaldığı görülmüştür (Zhu ve ark., 2021). Sapsız meşe ve Saplı meşe türlerinden toplam 60 fidanın yetiştirildiği araştırmada, temmuz ayından ağustos ayının sonuna kadar 3 ölçüm yapılmıştır. Relatif su içeriği Saplı meşede ağustosun sonunda azalmıştır, Sapsız meşede önemli bir farklılık görülmemiştir (Thomas ve Gausling, 2000). İki yaşındaki yirmi tane Pırnal meşesi (*Quercus ilex* L.) fidanları alınıp, saksılara yerleştirilmiştir ve 2 ay düzenli aralıklarla bakımları yapılmıştır. Kontrol ve kuraklık stresi olmak üzere 2 tane sulama rejimi oluşturulup, kuraklık stresi denemesinden önce 20 tane fidanda sulanmıştır, sonra yarısı kontrol diğer yarısı da kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. 15. güne kadar kuraklık stresine tabi tutulan fidanlarda relatif su içeriği azalmıştır, 16. günden itibaren tekrar su verilmesi durumunda arttığı görülmüştür (Tsonev ve ark., 2014). *Acer velutinum* ve *Alnus subcordata* türlerinin 1 yaşındaki fidanlarına 12 hafta boyunca 4 farklı sulama rejimi (kontrol, hafif, orta ve şiddetli kuraklık) oluşturularak yapılan kuraklık stresi denemesi sonucunda her iki türde de relatif su içeriğinde azalma tespit edilmiştir (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023). Makedonya meşesi (*Quercus trojana*) fidanlarında kuraklık stresinin etkilerini incelemek için sera koşullarında 1+0 yaşındaki fidanlara kontrol ve kuraklık olarak iki kuraklık uygulaması yapıp, iki aylık stres döngüsü bitiminde kuraklık stresinin relatif su içeriğini azalttığı tespit edilmiştir (Deligöz ve Bayar, 2021). Kuraklık altında RWC, *Alnus cremastogyne* (Tariq ve ark. 2018) ve *Maclura pomifera* (Khaleghi ve ark., 2019) türlerinde önemli ölçüde azalmıştır. Defne (*Laurus nobilis* L.) de kuraklık stresi çalışmasında, fidanlar üç farklı sulama rejimleri (kontrol (2-3 günde bir), 15. gün ve 30. gün) ile yaklaşık 4 ay boyunca kuraklık stresine tabi tutulmuş ve kuraklık stresinin su potansiyelini azalttığı görülmüştür (Ishimwe, 2023). Fotelli ve ark. (2000), kuraklık stresinin relatif su içeriğini düşürdüğünü ifade etmişlerdir. *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. türünde yapılan çalışmada, kuraklık stresi neticesinde nisbi su içeriklerinde düşüş belirtilmiştir (Pan ve ark., 2006). Sarıçam fidanlarında yapılan çalışmada, temmuzdan eylüle kadar RWC seviyesinde azalış olduğu görülmektedir (Bulut, 2008).

Quercus laceyi ve *Quercus sideroxyla* türleri ile yapılan çalışmada, her iki türün tohumları toplanıp çimlendirilmiştir. Fidanlar 1 yaşına geldikten sonra kontrol ve kuraklık olarak 2 rejime ayrılarak 7 haftalık kuraklık denemesi uygulanmıştır. 7 haftalık sürede 5 kez relatif su içeriği ölçümü yapılmıştır ve RWC *Quercus laceyi* için ilk haftadan itibaren, *Quercus sideroxyla* için ise 3. haftadan sonra azalmıştır (Poulos ve ark., 2007). *Quercus vulcanica* ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen relatif su içeriği analizinde her iki türde de kontrole kıyasla azalış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024). *Quercus ilex*, *Quercus cerris* ve *Quercus pubescens*'in (Cotrozzi ve ark., 2016) yapraklarında; *Quercus cerris* ve *Quercus pubescens*'in (Landi ve ark., 2019) yapraklarında; *Quercus fabri*, *Quercus serrata*, *Quercus acutissima* ve *Quercus variabilis* 'in (Xiong ve ark., 2022) yapraklarında; 14 günlük kuraklık stresinden sonra *Quercus ilex*'in (Echevarría-Zomeño ve ark., 2009) yapraklarında; 22 haftalık kuraklık stresinden sonra *Quercus lusitanica*'nın (Santamarina ve ark., 2022) sürgünlerinde nisbi su içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Cai ve ark. (2005), bitkinin 10 günlük kuraklık stresine maruz bırakıldıktan sonra yaprak su kapasitesinin kontrole karşılaştırıldığında azaldığı ifade edilmiştir. Sekiz farklı Avrupa orijinli Halep çamı fidanları ile yapılan araştırmada, bir haftalık kuraklık uygulamasından sonra yapılan ölçümlerde nisbi su içeriğinin azalmaya devam etmesiyle stresin arttığı belirlenmiştir (Calamassi ve ark., 2001). Avrupa kayını ve Sapsız meşe türlerinde bitki su potansiyeli değerlerinin havanın sıcak olduğu ağustos ayının başından itibaren azalmaya başladığı ifade edilmiştir (Aranda ve ark., 2005). Yukarıda özetlenen RWC'ye ilişkin çalışmalarda elde edilen bulgular, bu araştırmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir.

4.2 Toplam Klorofil İçeriğine İlişkin Tartışma

Kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki güvenilir işaretlerinden biri de klorofil içeriğindeki değişimdir. Klorofil pigmentleri, fotosentez üzerinde etkili oldukları için bitkilerin yaşam alanlarına, hava şartlarına ve antropojenik şartlara tepkisini, böylelikle bitkilerin canlılığını ve stresli koşullar karşısında direncini göstermektedir (Bakry ve ark., 2019; Zielewicz ve ark., 2020).

Kuraklık stresine maruz kalan bitki, ilk olarak stomalarını daraltarak ya da kapatarak su kaybını engellemektedir (Osakabe ve ark., 2014). Çünkü stomalar açık durumdayken; bitkide transpirasyonla su kaybı devam etmektedir. Dolayısıyla bitki su kaybını azaltmak için stomalarını kapatmaya gereksinim duymaktadır (Chaves ve ark., 2003; Mahajan ve Tuteja 2005). Bu durum CO₂ alınmasını da azaltacağı için fotosentez hızında da düşüşe yol açmaktadır (Chaves ve ark., 2003; Bota ve ark., 2004; Mahajan ve Tuteja 2005). Fotosentez hızında azalma klorofil içeriğinin de azaldığını göstermektedir. Yapraklardaki kuraklık stresinin bir belirtisinin, kloroplastlarda bir tür bozulmaya işaret eden klorofil kaybı olduğu ifade edilmiştir (Dawood ve Sadak, 2014; Sadak, 2016). Genel olarak, kuraklık stresi altında klorofil içeriğindeki azalma en temel konudur (Ziska ve ark., 1990, Sairam ve Saxena, 2000; Khan ve Beena, 2002; Ashraf, 2003; Hayatu ve Mukhtar, 2010; Kocaçınar ve ark., 2010; Alizadeh ve ark., 2011; Zanjani ve ark., 2012; El Atta ve ark., 2012; Kulaç ve ark., 2012; Wu ve ark., 2013; Maatallah ve ark., 2016; Yavaş ve Unay, 2016; Tariq ve ark., 2018; Guo ve ark., 2019; Sadak ve ark., 2020; Abd Elhamid ve ark., 2021; Sadak ve Bakhoun, 2022). Çalışmamızda benzer şekilde klorofil içeriği tüm orijinlerde kontrole kıyasla kuraklık stresi uygulamalarında daha az olduğu görülmektedir. Bu azalışlar % olarak şöyledir:

Toplam klorofil içerikleri, kontrol rejimine kıyasla, 2 günde 1 sulanan rejimde Bolu orijini (%13,65), Giresun orijini (%8,58), Zonguldak orijini (%6,61), İstanbul orijini (%6,49) az; kontrol rejimine kıyasla hiç sulanmayan rejimde de Bolu orijini (%24,25), Giresun orijini (%16,29), Zonguldak orijini (%9,42), İstanbul orijini (%9,03) az ölçülmüştür. Buna göre; Bolu (875 m), Giresun (1290 m) ve Zonguldak (500 m) orijinleri kuraklık stresine karşı toleransı düşük; İstanbul (180 m) orijini ise kuraklık stresine karşı toleransı yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerdeki klorofil içeriği bitki büyümesi için başlıca etmenlerinden biridir (Farquhar ve Richards, 1984). Bitkilerdeki pigmentlerin yıllık ve mevsimsel farklılıkları yazın yüksek ışık yoğunluğu, kışın çok düşük sıcaklıklar ve mevsimsel su kıtlığı gibi olumsuz gelişim şartlarıyla doğrudan alakalıdır (Sauceda ve ark., 2008; Kancheva ve ark., 2014). Yüksek sıcaklık ve ışık, klorofil içeriğinin azalmasına sebep olduğunu ifade etmişlerdir (Brett ve Singer, 1973).

Klorofil içeriğindeki değişimi belirlemek için 20 türde SPAD-502 ile yapılan çalışmada, Doğu kayınının (*Fagus orientalis* Lipsky.) büyüme döneminin sonunda (15 Ekim), büyüme döneminin başına (20 Mayıs) göre klorofil içeriğinde artış olduğunu belirtmişlerdir (Atar ve ark., 2020). Çünkü 2019 yılı aylık toplam yağış verileri incelendiğinde mayıs ayında 28,6 mm yağış görülürken, ekim ayında 126,2 mm ile yaklaşık 5 kat daha fazla yağış görülmüştür. Bu yüzden klorofil içeriği azalmamıştır. Bir başka araştırmada ise bitki büyümesi sırasında uygulanan kuraklık stresinin toplam klorofil içeriğini önemli ölçüde azalttığı ortaya koyulmuştur (Mafakheri ve ark., 2010). *Quercus vulcanica* ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen toplam klorofil içeriği her iki türde de kontrole kıyasla azalış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024). Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) 1 yaşındaki 8 farklı popülasyona ait tüplü fidanlarının ikinci vejetasyon döneminde 2-3 günde bir 280 ml, 3-4 günde bir 140 ml ve 3-4 günde bir 70 ml olarak 3 değişik sulama rejimi uygulanmış ve su eksikliğinin artması ile toplam klorofil içeriğinin haziran ayından eylül ayına doğru düştüğü görülmüştür (Arslan, 2017). Kızılçam tohumlarından üretilen 2 yaşındaki fidanlara farklı sulama rejimleri uygulanarak, en yüksek klorofil miktarının 675 mm/yıl'da görüldüğü, 225 ve 450 mm/yıl'daki fidanların toplam klorofil içeriğinde azalış olduğu belirtilmiştir (Akça ve Yazıcı, 1999). Yaklaşık 1,3 m boyunda, 4 yaşındaki Avrupa kayını fidanlarını (*Fagus sylvatica* L.) 2 sulama grubuna (kontrol ve sulanmayan) ayırarak, 36 günlük kuraklık stresi uygulanan çalışmada, klorofil içeriğinin 36. günün sonunda stresli bitkilerde kontrol bitkilerine göre azaldığı ifade edilmiştir (Gallé ve Feller, 2007). Avrupa kayını fidanları 25 gün boyunca iyi sulanan (W), orta derecede kuraklığa maruz kalan (M) ve şiddetli kuraklığa maruz kalan (S) olmak üzere üç farklı sulama yoğunluğuna maruz bırakılmış; M ve S fidanlarında fotosentez hızı ve klorofil floresans parametrelerinde bir azalış olduğu belirtilmiştir (Hájíčková ve ark., 2024). Ayrıca fotosentezin azalmasına ve büyümenin gecikmesine neden olan fotosentetik pigmentlerin parçalanması, kuraklık stresinin bilinen bir işareti olduğunu ifade edilmiştir (Sadak ve Ramadan, 2021 ; Abdalla ve ark., 2022). Genç tüylü meşe (*Quercus pubescens*) ile yapılan kuraklık stresi çalışmasında, klorofil miktarının düştüğü tespit edilmiştir (Gallé ve ark., 2007).

Acer velutinum Bioss. ve *Alnus subcordata* C.A. Mey. türlerinin 1 yaşındaki fidanları 12 hafta boyunca, 4 sulama rejimi (kontrol, hafif, orta ve şiddetli kuraklık) oluşturularak yapılan kuraklık stresi denemesi sonucunda her iki türde de toplam klorofil içeriğinde azalma tespit edilmiştir (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023). Kuraklığın klorofil sentezinin hızını kaybetmesine ve yapraklardaki klorofil içeriğinin düşüşüne sebep olduğu belirlenmiştir (Ramanjulu ve ark., 1998; Singer ve ark., 2002; He ve ark., 2016; Chen ve ark., 2019; Sadak ve ark., 2020; Bakhoun ve ark., 2022). Ek olarak, kuraklık stresinin birçok bitki türünde fotosentetik pigment içeriğinin düşüşüne sebep olduğu belirtilmektedir (Thimmanaik ve ark., 2002; Parida ve ark., 2007; Guerfel ve ark., 2009; Nikolaeva ve ark., 2010).

Sarıçamda (*Pinus sylvestris*) yapılan araştırmada, mayıstan temmuza kadar olan süreçte haftada 2 kez, haftada 1 kez ve 15 günde bir sulama rejimleri oluşturulmuş ve tüm sulama rejimleri için klorofil içeriğinde bir azalış olduğu ifade edilmiştir (Kulaç, 2010). Kavakta yapılan çalışmada, kuraklık stresinin klorofil a/b oranını azalttığı görülmüştür (Yin ve ark., 2009). Mango (*Mangifera indica* L.) bitkisindeki yapılan çalışmada, klorofil miktarının kuraklık stresin şiddetlendiği aylarda azaldığı belirtilmiştir (Damour ve ark., 2009). *Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Pinus halepensis* ve *Juniperus phoenicea* türlerinin kuraklığa dayanıklılığını belirlemek için klorofil içeriklerinin araştırıldığı çalışma sonucunda, yazın klorofil içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Baquedano ve Castillo, 2007). Kuraklık stresine maruz bırakılan Batı Çin'in ılıman ve kurak bölgesindeki *Populus przewalskii* Maximowicz sera koşullarında üretilen fidanlara %100, %50 ve %25 tarla kapasiteli sulama rejimi uygulanması sonucunda, kuraklığın klorofil pigment içeriğini düşürdüğü ifade edilmiştir (Lei ve ark., 2006). Kuraklık stresinin *Abies fraseri* (Pursh) Poir, fidanlarında klorofil a ve b'yi büyüme dönemi ortasında düşürdüğü belirlenmiştir (Kulaç ve ark., 2012). *Picea asperata* Mastters fidanlarının tarla kapasitesi (%100 ve %30) olan 2 farklı sulama rejimi ile iki değişik ışık sistemi kullandığı (%100 fazla ışıklı ve %15 az ışıklı) bölgede, kuraklık stresinin etkilerini araştırmış ve şiddetli kuraklık stresinin klorofil miktarını düşürdüğü belirtilmiştir (Yang ve ark., 2007a). Volkanik meşe ve Boz pırnal meşesi türleri üzerine yapılan bir araştırmada, belli süre (1, 2 ve 4 hafta) çalışılan kuraklık stresi neticesinde klorofil içeriklerinin düştüğü belirlenmiştir (Özden, 2009).

Pšidová ve ark. (2015), yaptıkları 10 gün süreli kuraklık stresi uygulamasında, 3 farklı bölgeden (Divín-warm-530 m, Dobšiná-moderately warm-625 m, Pohorelá-cool-1,250 m) alınan Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) fidelerinde su açığına en fazla direnç gösteren, daha kurak ve alçak rakımlı Divín'den alınan fidelerin olduğu görülmüştür. Yukarıda özetlenen toplam klorofil içeriğine ilişkin çalışmalarda elde edilen bulgular, bu araştırmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir.

4.3 Klorofil Floresansına (Fv/Fm) İlişkin Tartışma

Klorofil floresansı, abiyotik stresler altında fotosentetik verimlilik hakkında bilgiler vermektedir (Brestic ve Zivcak., 2013). Klorofil floresans ölçümleri stres etmenlerinin bitkileri nasıl etkilediklerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu ölçümlerle anlık olarak bitkilerin durumlarıyla alakalı bilgi alınabilmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Brestic ve Zivcak, 2013; Jedmowski ve Brüggemann, 2015; Brestic ve ark., 2018).

Fm reaksiyon merkezlerinin kapalı olduğu andaki maksimum floresanstır (Doğru, 2019). Fo, reaksiyon merkezlerinin aktif haldeki andaki minimum floresanstır. Fv, değişken floresans yayılımıdır ($Fv = Fm - Fo$) ve yalnız tanımlanan iki durum arasındaki floresans yayılışındaki değişikliği vermektedir (Mohammed ve ark., 1995; Reigosa Roger ve Weiss, 2001). Klorofil floresans (CF) analizlerinde fotosentetik aktivitenin ölçülmesinde faydalanan ve fotosentetik verimliliğini gösteren temel değişken Fv/Fm oranıdır. Bu Fv/Fm oranı, PSII (Fotosistem II) de emilen ışığın en yüksek verimlidir ve stres durumunda düştüğü bilinmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Kocheva ve ark., 2004; Semerci, 2005b; Ritchie, 2006; İmal, 2015). Klorofil floresansı bitkilerin stres ortamına ne zaman maruz kaldıklarını değerlendirmek için basit ve hızlı bir yol sağlamaktadır (Henriques, 2009). Yapılan çalışmalarda görülüyor ki Fv/Fm değerleri şiddetli kuraklık stresi altında azalmaktadır (Ögren ve Oquist, 1985; Björkman ve Demmig, 1987; Ögren, 1990; Epron ve Dreyer, 1992; Dreyer ve ark., 1992; Angelopoulos ve ark., 1996; Maxwell ve Johnson, 2000; Bigras, 2005; Percival ve ark., 2006). Fv/Fm değerinin 0,7-0,83 arasında olması bitkinin uygun şartlarda olduğunu, <0,6 değerinde olması stres altında bulunduğunu göstermektedir (Ritchie, 2006).

Çalışmamızda benzer şekilde Fv/Fm tüm orijinlerde kontrole kıyasla kuraklık stresi uygulamalarında daha az olduğu görülmektedir. Bu azalışlar % olarak şöyledir:

Klorofil floresansları, kontrol rejimine kıyasla, 2 günde 1 sulanan rejimde Bolu orijini (%27,03), İstanbul orijini (%7,89), Zonguldak orijini (%10,81), Giresun orijini (%26,76) az; kontrol rejimine kıyasla, hiç sulanmayan rejimde ise Bolu orijini (%45,95), İstanbul orijini (%13,16), Zonguldak orijini (%18,92), Giresun orijini (%50,7) az ölçülmüştür. Buna göre; Bolu (875 m), Zonguldak (500 m) ve Giresun (1290 m) orijinleri kuraklık stresi karşısı toleransı düşük; İstanbul (180 m) orijini ise kuraklık stresi karşısı toleransı yüksek oldukları tespit edilmiştir. Dört yaşındaki Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) fidanlarında yapılan kuraklık çalışmalarında, Fv/Fm oranı, kuraklık stresi altında azaldığı belirtilmiştir (Jamnická ve ark., 2013). Bir yaşındaki *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur* fidanlarında altmış günlük serada yapılan kuraklık stresi çalışmalarında, *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur* için Fv/Fm oranı kontrol değeri 0,8 civarında olup kuraklık stresi altında yaklaşık 0 değerine, *Pinus sylvestris*, *Picea abies* ise 0,8 civarından 0,3 değerine kadar yaklaştığı belirtilmiştir (Niernczyk ve ark., 2023). Hava sıcaklığına ve toprak su içeriğine bağlı olarak günlük hava sıcaklığındaki artışla birlikte Avrupa kayınının (*Fagus sylvatica*) Fv/Fm oranında düşüş; günlük toprak su içeriğindeki azalma ile Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) ve Tüylü meşe (*Quercus pubescens*) de Fv/Fm oranında önemli bir azalış olduğu ifade edilmiştir (Didion-Gency ve ark., 2022). Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) 1+0 tüplü fidanlarının ikinci vejetasyon döneminde 3 sulama rejimine ayrılıp ve sulama rejimlerine göre orijinler arasında Fv/Fm değerleri açısından anlamlı farklılıklar tespit edilmiş ve haziran ayından eylül ayına kadar yaptığı ölçümlerde su eksikliği ile stres arttıkça Fv/Fm değerlerinin düştüğü görülmüştür (Arslan, 2017). *Quercus laceyi* ve *Quercus sideroxyla* türleri ile yapılan çalışmada, her iki türün tohumları toplanıp çimlendirilmiştir. Fidanlar 1 yaşına geldikten sonra kontrol ve kuraklık olarak 2 rejime ayrılarak 7 haftalık kuraklık denemesi uygulanmıştır. 7 haftalık sürede 5 kez klorofil floresansı (Fv/Fm) ölçümü yapılmıştır ve Fv /Fm de ilk olarak 6. haftada *Quercus sideroxyla*'da düşerken, *Quercus Laceyi* için ise ancak 7. haftaya azalmıştır (Poulos ve ark., 2007). Mango (*Mangifera indica* L.) bitkisinde Fv/Fm'nin kuraklık stresin şiddetlendiği aylarda azaldığı belirtilmiştir (Damour ve ark., 2009).

Hava sıcaklığı ve su kullanımı optimal olduğunda *Quercus ilex* ve *Phyllarea latifolia*'da Fv/Fm oranı 0,8 olarak belirtilmiştir. Fv/Fm'nin yaz, sonbahar ve kış periyodunda 0,75'in altına düştüğü görülmüştür. *Phyllarea latifolia*'da kışın *Quercus ilex*'den daha düşük Fv/Fm değerlerine sahip olduğu ifade edilmiştir (Ogaya ve ark., 2011). Tüplü sedir fidanlarının 2. büyüme döneminde mart ayından ekim ayına kadar Fv/Fm değerleri ölçülmüş, Fv/Fm değerleri mart ayında (0,58), temmuz ayında (0,81) ve 8 ayın ortalaması ise 0,72 olarak tespit edilmiştir. Mart ayında fotosentetik verimliliğinin düşük çıkmasının sebebi kış aylarında yaşanan düşük sıcaklıklardan kaynaklandığı söylenebilir. Fv/Fm ortalama değerinin yüksek çıkmasının sebebi ise fidanların negatif bir abiotik veya biyotik stres etmenine tabi tutulmadığını ortaya koymaktadır (Ayan ve ark., 2022). Anadolu karaçamı farklı orijinlere sahip fidanlarda yapılan çalışmada, fidanlara her gün, 5 günde bir, 10 günde bir sulama rejimleri uygulanmış, sulama rejimi düzeyi arttıkça ve en kurak aylarda Fv/Fm oranında azalış görülmüştür lakin bu azalış bu türü strese maruz bırakacak seviyeye ulaşmamıştır ve çalışma neticesinde en az 0,702 en çok 0,836 olarak belirlenmiştir (Demir, 2019). Gallé ve Feller (2007), yaklaşık 1,3 m boyunda, 4 yaşındaki Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) fidanları için iki grup (kontrol fidanları, stres fidanları) oluşturulmuş ve uygulama başlayıncaya kadar tüm fidanlar sulanmıştır ve kontrol bitkileri her 2-3 günde bir sürekli olarak sulanmaya devam ederken, sulanmayan (stres fidanları) 36 gün susuz bırakılmıştır, ardından yine sulamaya devam edilmiştir, klorofil floresansı değerleri ölçülmüştür ve sonuçta kontrol yapraklarındaki klorofil floresansı (Fv/Fm oranı) deneme boyunca 0,7'nin üzerinde kalmıştır. Kuraklık periyodu sonunda ve yeniden sulama sonrasında elde edilen Fv/Fm değeri stres altındaki bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha düşük olup sırasıyla ortalama 0,71 ve 0,80 civarında olmuştur. Wang ve ark. (2018), 33 günlük kuraklık çalışmasında Fv/Fm oranının kontrole kıyasla önemli ölçüde azaldığını; 14 gün boyunca tekrar sulama yapıldıktan sonra, düşük ve orta kuraklık stresi altındaki bitki yapraklarının Fv/Fm oranının neredeyse kontrol seviyesine geri dönebilirken, yoğun kuraklık stresi altındaki Fv/Fm oranının ise kontrolden önemli ölçüde azaldığını ifade etmişlerdir. Uygun şartlarda bitkilerde ortalama 0,790-0,840 arasında olduğu stres şartlarında düştüğü tespit edilmiştir (Maxwell ve Johnson, 2000). Yukarıda özetlenen Fv/Fm oranına ilişkin çalışmalarda elde edilen bulgular, bu araştırmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir.

4.4 Hidrojen peroksit İçeriğine (H₂O₂) İlişkin Tartışma

Kuraklık, aşırı yüksek ve düşük sıcaklıklar gibi biyotik ve abiyotik stres faktörleri, hücresel yapılarda zararlara yol açan reaktif oksijen türlerinin hücre içindeki miktarının yükselmesine neden olmaktadır (Bhattachrjee, 2005). Çünkü, reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinde görev alan antioksidan enzimler susuz ortamda aktifleşemezler ya da zarar görmektedirler. Bu nedenle doğal olarak gerçekleşmesi gereken reaktif oksijen türlerinin temizlenmesi süreci gerçekleşemez ve bu durum da oksidatif strese yol açmaktadır (Doğru, 2020). Hidrojen peroksit (H₂O₂), oksidatif stres neticesinde ortaya çıkan reaktif oksijen türlerinden bir tanesidir (Özdamar ve ark., 2016). Ağır stres koşulları nedeniyle ve metabolizma hareketleri esnasında metabolizmada çokça yığılan H₂O₂ içeriğinin temizlenememesi, H₂O₂ düzeylerindeki artışa yol açmaktadır (Hung ve ark., 2005; Nounjan ve ark., 2012; Sofo ve ark., 2015). Kuraklık stresi altındaki bitkilerde H₂O₂ içeriğinin yükseldiği ifade edilmiştir (Sairam ve ark., 1998; Sairam ve Srivastava, 2001; Khanna-Chopra ve Selote, 2007, Hasanuzzaman ve ark., 2014; Wutipraditkul ve ark., 2015; Çetin, 2018).

Çalışmamızda benzer şekilde H₂O₂ içeriğinin tüm orijinlerde kontrole kıyasla kuraklık stresi uygulamalarında arttığı görülmektedir. Fakat bu artışın İstanbul (180 m) orijininde diğer orijinlere kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Buna göre; Bolu (875 m), Zonguldak (500 m) ve Giresun (1290 m) orijinleri kuraklık stresine karşı toleransı düşük; İstanbul orijininin (180 m) ise kuraklık stresine karşı toleransı yüksek oldukları tespit edilmiştir. *Quercus vulcanica* ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen H₂O₂ içeriği seviyesi her iki türde de kontrole kıyasla artış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024). Cevizin (*Juglans regia* L.) incelendiği çalışmada, 5-6 yapraklı ceviz fidanlarına kuraklık stresi uygulamaları 6 hafta sürmüş, hidrojen peroksit (H₂O₂) analizi yapılmıştır ve sonuçlara göre, H₂O₂ değeri tüm stres uygulamalarında yüksek olduğu tespit edilmiştir (Turfan, 2016). *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* ve *Quercus robur*'un (Pellegrini ve ark., 2019) ve *Quercus pubescens*'in (Landi ve ark., 2019) yapraklarında kuraklık stresine tepki olarak H₂O₂ içeriğinde artış tespit edilmiştir. Yukarıda özetlenen H₂O₂'ye ilişkin çalışmalarda elde edilen bulgular, bu araştırmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir.

4.5 Lipid Peroksidasyonu seviyesine (MDA) İlişkin Tartışma

Lipidler, çevresel stresle karşılaşan dokularda meydana gelen oksidatif zararın temel hedefidir. Su noksanlığı hidroksil radikalleri ve süperoksit radikali gibi farklı ROT'ları meydana getirmektedir (Güneri Bağcı, 2010). Kloroplastlarda elektronların direkt fotosistem I den (PSI) oksijene aktarılması, (O_2^-) ve (OH^-) olan reaktif oksijen türlerinin meydana gelmesine sebep olup ve bu radikaller de lipidlerde hasar oluşturarak peroksidasyonlara yol açmaktadırlar (Kacar ve ark., 2002). Kuraklık stresi bitki türlerinde serbest oksijen türlerini yükselttiği için, membran yapısının hasar gördüğü ifade edilmiştir ve membran fosfolipitlerindeki çoklu doymamış lipidlerin yapısının hasar görmesiyle meydana gelen MDA; tüm türlerin kök ve yaprak dokularında yükseldiği tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2015). Bitkilerde kuraklık stresi koşullarında lipit peroksidasyonu, oksidatif hasara yol açan başlıca mekanizmalardan biridir ve bu sebeple MDA içeriğinin belirlenmesi hücrel bozulmanın bir işaretidir (Özden ve Bayçu, 2024). Malondialdehit (MDA), hücrelerde çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunun son ürünüdür ve genel lipid peroksidasyonunun bir indeksidir (Hodges ve ark., 1999; Gawel ve ark., 2004). Yaprak yapısındaki MDA seviyesinin kuraklıkla beraber yükseldiği belirtilmiştir (Sairam ve ark., 1998; Terzi ve ark., 2010; Büyük, 2014, Çetin, 2018).

Çalışmamızda da benzer şekilde tüm orijinlerde MDA seviyesi kontrol grubuna göre, kuraklık stresi gruplarında arttığı görülmektedir. Fakat bu artışın İstanbul (180 m) orijininde diğer orijinlere kıyasla daha az olduğu belirlenmiştir. Buna göre; Bolu (875 m), Zonguldak (500 m) ve Giresun (1290 m) orijinleri kuraklık stresine karşı toleransı düşük; İstanbul (180 m) orijininin ise kuraklık stresine karşı toleransı yüksek oldukları tespit edilmiştir. Kuraklık stresi lipid peroksidasyon miktarında artışa yol açmaktadır (Hasegawa ve ark., 2000; Okuma ve ark., 2000; Shen ve ark., 2010; Merwad ve ark., 2018). *Quercus fabri*, *Quercus serrata*, *Quercus acutissima* ve *Quercus variabilis* ile yapılan kuraklık stresi çalışmasında, tüm türlerin MDA seviyelerinde artış görülmüştür (Xiong ve ark., 2022). Schwanz ve Polle (2001), *Pinus pinaster*'in *Quercus robur*'a göre kuraklığa daha toleranslı bir tür olduğunu ve *Quercus robur*'da kuraklık stresi altında lipit peroksidasyon yoğunluğunun arttığı ifade edilmiştir.

Acer velutinum Bioss. ve *Alnus subcordata* C.A. Mey. türlerinin 1 yaşındaki fidanlarına, 12 hafta boyunca 4 sulama rejimi (kontrol, hafif, orta ve şiddetli kuraklık) oluşturularak yapılan kuraklık stresi denemesi sonucunda her iki türün de MDA seviyelerinde artış görülmüştür (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023). Wu ve ark. (2013), *Quercus variabilis* ve Tariq ve ark. (2018), *Alnus cremastogyne* türlerini kuraklık stresine tabi tuttuktan sonra yapılan ölçüm sonucunda MDA seviyelerinde kontrole kıyasla artış olduğu belirtilmiştir. *Quercus vulcanica* ve *Quercus aucheri* türleri için toplanan tohumlar çimlendirildikten 6 ay sonra 1, 2 ve 4 haftalık kontrol ve kuraklık stresi olacak şekilde 6 deneme deseni oluşturulmuştur. Süreler sonunda ölçülen MDA seviyesi *Quercus vulcanica* da 1. ve 2. haftada kontrole kıyasla bir azalış, 4. haftada ise artış; *Quercus aucheri* ise 1. 2. ve 4. haftalardaki ölçümlerde ise kontrole kıyasla artış olduğu görülmüştür (Özden ve Bayçu, 2024). *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* ve *Quercus robur*'un (Pellegrini ve ark., 2019) yapraklarında; *Quercus ilex*, *Quercus cerris*, *Quercus pubescens*'in (Cotrozzi ve ark., 2016) yapraklarında; *Quercus cerris*'in (Cotrozzi ve ark., 2017) yapraklarında; *Quercus ilex*'in (Simova-Stoilova ve ark., 2018) kotiledonlarında ve *Quercus serrata*, *Quercus acutissima* ve *Quercus variabilis*'in yapraklarında (Xiong ve ark., 2022) kuraklık stresi altında MDA seviyelerinde artış tespit edilmiştir. Altı yaşındaki *Quercus robur* L. ve *Carpinus betulus* L. fidanlarında nisan-eylül ayları arasında 2 sulama rejimi (kontrol, sulanmayan) oluşturularak yapılan kuraklık çalışmasında sulanmayan gruptaki fidanlarda kontrole göre MDA seviyesinde artış görülmüştür (Stojnić ve ark., 2016). MDA'nın 96 saatlik uygulamadan sonra azaldığı ama kuraklık stresinin süresi arttırıldığında yükseldiği ifade edilmiştir (Pan ve ark., 2006). Bu 96 saatlik streste MDA'nın azalışın sebepleri arasında türdeki koruyucu enzimlerin lipid peroksidasyonunu engellemesi gösterilebilir (Cai ve ark., 2005; Büyük, 2014). Yukarıda özetlenen MDA seviyesine ilişkin çalışmalarda elde edilen bulgular, bu araştırmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir.

4.6 Morfolojik Özelliklere (Büyüme Parametrelerine) İlişkin Tartışma

Yapılan çalışmada 2. büyüme dönemindeki farklı orijinlere (Bolu, İstanbul, Zonguldak, Giresun) ait Doğu kayını fidanlarında ölçülen büyüme parametreleri bakımından orijinler arasında farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılığı varyans analizi ile belirlenmiştir.

Ölçülen tüm parametreler bakımından orijinler arasında anlamlı farklılıkların olduğu görülmüştür. Duncan testi göre orijinler arasında fidan boyu bakımından 2, kök boğazı çapı bakımından 2, yan dal sayısı bakımından 3 farklı grup ortaya çıkmıştır. Fidanlarda kalite sınıflarının tespiti için ilk olarak morfolojik özellikler incelenmiştir (Yahyaoğlu ve Genç, 2007). Son yıllarda fidan kalitesinin belirlenmesi için yapılan araştırmaların pek çoğunda morfolojik parametreler göz önüne alınmıştır (Yılmaz, 1995; Donahue ve Upton, 1996; Üçler ve ark., 2000; Apholo ve Rikala, 2003; Ayan ve Tilki, 2007; Manas ve ark., 2009; Yer ve Ayan, 2011; Çiçek ve ark., 2011; Aksu ve Tilki, 2015; Bilgin, 2019; Ayan ve ark., 2020a). Kaliteli fidan üretmek için tohum kaynaklarının tespitinde ilk olarak uygun orijinler seçilmelidir. Ürgenç (1986), kaliteli fidan kullanılmasının, hem fidanların başarılı gelişimini hem de kurak ve yarı kurak bölgelerdeki ağaçlandırmalarda fidanların tutma başarısını da arttırdığını ifade etmiştir. Avrupa kayınının 14 değişik orijinli serada üretilen fidanlarında, farklı su içeriklerine göre fidan boyu ve kök boğazı çapının orijinler arasında anlamlı farklılıkları ortaya koyduğu belirtilmiştir (Nielsen ve Jorgensen, 2003). İki okaliptüs klonunun su eksikliği karşısında metabolik cevapları araştırılmış ve kuraklık durumunda hassasiyetleri karşılaştırılmıştır; su eksikliğinin, büyümeyi azalttığı ifade edilmiştir (Shvaleva ve ark., 2006). *Acer velutinum* Bioss. ve *Alnus subcordata* C.A. Mey. türlerinin 1 yaşındaki fidanlarını 12 hafta boyunca izleme sonucunda bu türlerde FB ve KBÇ bakımından farklılıklar meydana geldiği ve FB'leri *Acer velutinum* için 52 cm, *Alnus subcordata* için 132 cm; KBÇ'ları *Acer velutinum* için 14 mm, *Alnus subcordata* için 18 mm olarak belirlenmiştir (Ravanbakhsh ve Babakhani, 2023). *Fagus sylvatica* L., *Acer platanoides* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. ve *Fraxinus excelsior* L. ait değişik orijinlere ilişkin fidanlarda FB açısından orijinlere göre farklılıklar tespit edilmiştir (Baliuckas ve ark., 1999). Doğu kayınında bazı morfolojik ve fizyolojik karakterlerin alana geliş şekline ve 3 farklı yükselti kademesine göre farklılıkların incelendiği çalışmada, FB ve KBÇ'nin yükseltiye göre değişiminin anlamlı bulunduğu; FB ve KBÇ açısından en yüksek değerlerin düşük yükseltilerde bulunduğu ve yükselti arttıkça değerlerin azaldığı ifade edilmiştir (Özel ve ark., 2021c). Doğu kayınında yapılan araştırmada, farklı popülasyonlara ve farklı yükseltilere (510 m ile 1,515 m arasında) bağlı olarak FB ve KBÇ bakımından en fazla değere sahip olan orijinin 850 m yükseltide, en az değere sahip orijinin ise 1515 m yükseltide bulunduğu belirlenmiştir (Gülseven ve ark., 2019).

Kuraklık stresi uygulanan altı Sapsız meşe popülasyonu arasındaki fenotipik farklılıkların incelendiği araştırma da hem popülasyon hem de sulama rejimine göre fidanların morfolojik özellikleri arasında önemli farklılıklar olduğu ortaya koyulmuştur (Bruschi, 2010). Toros sedirinde fidan kalite sınıflarının oluşturulmasında fidan boy ve kök boğaz çapı değerlerinin kullanıldığı 5 yıllık arazi denemelerinin sonuçlarına göre kalın çaplı fidanların daha iyi boylandıkları görülmektedir (Semerci, 2005a). Adi gürgen fidanlarının (Atar ve ark., 2018), FB ve KBC'lerinin popülasyonlara göre önemli farklılıklar oluşturduğu, benzer tespitleri Atar ve Turna (2018), kestane türünde; Hatipoğlu (2013), Doğu gürgeni türünde; Atar (2021), meşe türünde; Yahyaoğlu ve ark. (2012), fıstıkçamı türünde; Güney (2009) ile Gülseven ve ark. (2019), Doğu kayını türünde yaptıkları çalışmalarda ifade etmişlerdir. Yalancı akasya türüne ait 18 orijinde yapılan araştırmada, FB-KBC kalite sınıflarını oluşturarak, orijinler arasında morfolojik özellikler açısından farklılık gösterdiği belirtilmiştir (Turna, 1996). *Celtis australis* L., *Cistus ladanifer* L., *Fraxinus angustifolia* Vahl., *Nerium zakkum* L., *Olea europaea* L. var. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus* L., *Pinus pinea* L., *Quercus ilex* L. subsp., *Quercus suber* L., *Rhamnus alaternus* L., 1+0 yaşındaki fidanları temin edildikten 6 ay sonra yapılan morfolojik ölçümler sonucunda türler arasında morfolojik açıdan farklılıklar olduğu ifade edilmiştir (Olmo ve ark., 2014).

Çalışmamızda da benzer şekilde orijinler arasında fidan boy ve kök boğazı çapı değerlerinin anlamlı farklılık gösterdiği görülmüştür ayrıca kayın fidanlarının FB ve KBC açısından en iyi gelişimi İstanbul (180 m) orijinli fidanların yapmış oldukları tespit edilmiştir. Kayın fidanlarının (her dört orijini için) ortalama olarak 18,1-33,42 cm arasında fidan boyu; 3,82-7,98 mm arasında kök boğazı çapı değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Fidan boyu en küçük Bolu (875 m) orijinli; kök boğazı çapı en küçük Giresun (1290 m) orijinli fidanlarda tespit edilmiştir. Fidan boyu ve çapının en fazla İstanbul (180 m) orijininde olması, bu orijinde rakımın en az olması ile diğer popülasyonlardan ayrılmasından; en az Bolu (875 m) ve Giresun (1290 m) orijinlerinde olması ise yetişme ortamı bakımından diğer orijinlerden farklı olabileceği düşüncesinden kaynaklandığı söylenebilir. Özellikle İstanbul (180 m) orijininde FB ve KBC gibi fidan özellikleri açısından en iyi karakterlerin belirlenmesi, İstanbul orijini için genetik zenginliğin yüksek olduğunu göstermektedir.

Dirik (1993), fidan kalitesinin tespitinde başlıca parametrelerden birinin FB olduğunu, Coşgun ve ark. (2008) ile Semerci (2002) de FB'nin kalite göstergesi gibi değerlendirilmesini ifade etmişlerdir. Şimşek (1987) ise, KBÇ'nın fidanların kalite kriterlerinin belirlenmesinde FB'den daha önemli ve KBÇ kalın olan fidanların ağaçlandırma başarısının daha fazla olduğu belirtilmiştir. Çünkü boylu ve kalın çaplı fidanlarda daha fazla rezerv maddeler depolanacağı, yaprak ve ibre oranları daha fazla olacağı, daha kalın kesitlere sahip olduklarından daha fazla su tutma kapasiteleri ortaya çıkacağı ve böylece ilk dikimlerde kuraklığa karşı daha dayanıklı olacakları ifade edilmiştir. Güney (2009), 2 yaşındaki kayın fidanlarının fidan boylarını ortalama 18,02-37-79 cm arasında; kök boğaz çaplarını ortalama 4,77-7,02 mm arasında; yan dal sayısını ortalama 0,89-4,12 arasında olduğunu belirtmiştir. Gülseven ve ark. (2019) ise 2+0 yaşındaki kayın fidanlarının fidan boylarını ortalama 29,9-34,6 cm arasında; kök boğaz çaplarını ortalama 7,26-8,27 mm arasındaki değerlerle ifade etmişlerdir. Atar (2021), 2. büyüme dönemindeki meşe fidanlarında ortalama fidan boyları 5,87-16,63 cm arasında; ortalama kök boğaz çapları 3,14-4,29 mm arasında; yan dal sayıları ortalama 0,10-0,63 arasında değerler aldığını belirtmiştir. Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) 2. vejetasyon dönemi sonunda yapılan morfolojik ölçümler sonucunda fidanların ortalama fidan boyu 18,57 cm, kök boğazı çapı 4,9 mm olarak ifade edilmiştir (Ayan ve ark., 2022). Selek (1995), 2+0 yaşındaki farklı orijinli Doğu kayını fidanları üzerine yaptığı çalışmada fidan boyları ortalama 25,6-29,6 cm arasında ve ortalama kök boğazı çaplarını 6,0-6.6 mm arasında olduğunu tespit etmiştir. Özpay ve Tosun (1993), 2+0 yaşlı kayın fidanları için en az 20-25 cm FB ve 5 mm KBÇ değerlerini vermektedir; ayrıca arazideki gelişimlerine bakıldığında hem boyu ve hem de çapı büyük olan gruptaki fidanların daha başarılı oldukları belirtilmiştir. Bu durum Eyüboğlu ve Karadeniz'in (1987) 2+0 yaşındaki Doğu kayını üzerine yaptığı çalışmada fidanların boyları arasında 5'er cm farkla (21-36 cm arası) 4 gruba; her bir boy grubundaki fidanlar ise kendi aralarında 1 er mm aralıklarla 3 çap sınıfına ayrılmışlardır. Dikimden 3 yıl sonra yapılan ölçümlerde boylu ve kalın çaplı fidanlar daha başarılı oldukları görülmüştür. Ayrıca aynı çapta olup boyu daha uzun ve aynı boyda olup çapı daha kalın olan fidanların yıllık boy artımlarının daha iyi olacağı belirtilmiştir. Bugüne kadar yapılan birçok araştırmada, boylu fidanların kısa boylu fidanlara göre ağaçlandırmalarda başarı oranı daha fazla olduğu ifade edilmiştir (Şimşek, 1987).

Ayan ve ark. (2020b) ise 1+0 yaşlı Doğu kayınının (*Fagus orientalis* L.) ortalama olarak fidan boyunu 29,5 cm, kök boğazı çapını 3,62 mm; Atik (2008) ise 1+1 yaşlı repikajlı Doğu kayını fidanlarında ortalama fidan boyunu 28,6 cm olarak ifade etmişlerdir. Tefen orijinli 2+0 yaşındaki Doğu kayını fidanları 5 tekrarlı ve her tekrarda 30 adet toplamda 150 adet fidan üzerinde yapılan çalışmada ortalama FB 26,0 cm ve KBC 5,39 mm olarak ölçülmüştür (Atik, 2013).

Yapılan çalışmada 2. büyüme dönemindeki farklı orijinlere (Bolu, İstanbul, Zonguldak, Giresun) ait Doğu kayını fidanlarında kök hacmi, kök alanı, kök uzunluğu gibi morfolojik parametreler de ölçülmüştür. Ölçülen bu parametreler bakımından orijinler arasında farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılığı varyans analizi ile belirlenmiş ve ölçülen tüm parametreler bakımından orijinler arasında %99 güven düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu görülmüştür. Duncan testine göre orijinler arasında kök hacmi bakımından 4, kök alanı bakımından 4, kök uzunluğu bakımından 4 farklı grup ortaya çıkmıştır. Yüksek kök gelişme potansiyeli, fidanın yüksek yaşama yüzdesi ile bağlantılıdır (Ritchie, 1984). Orijinler arasında fidanların kök hacmi, kök alanı ve kök uzunluğu açısından en iyi kök gelişimi İstanbul (180 m) orijinli fidanlar; en az kök gelişimi Bolu (875 m) orijinli fidanlar göstermektedir. Kayın fidanlarının (her dört orijini için) ortalama olarak 2,36-5,99 cm³ arasında kök hacmi; 106,24-304,02 cm² arasında kök alanı; 413,77-1080,95 cm arasında kök uzunluğu değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Rose ve ark. (2009), Güneydoğu Polonya'dan (Lutowiska, Podkarpackie) ve Merkez Almanya'dan (Neuhaus, Solling) Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) tohumları temin edilip, çimlendirildikten yaklaşık 14 hafta sonra fidanların kök alanları ölçülmüştür ve bölgeler arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Kök alanı değerleri Güneydoğu Polonya için ortalama 202,71 (cm² g⁻¹) ve Merkez Almanya için 182,83 (cm² g⁻¹) olarak ölçülmüştür. Meier ve Leuschner (2008), 4 farklı orijinli (Ziegelroda, Bleicherode, Westerhofen, Dassel) 2 yaşındaki Avrupa kayını fidanlarında ortalama 39,9-55,1 (mg cm⁻³) kök hacmi; 421-521 (cm² g⁻¹) kök alanı; ortalama 19,3-27,7 (m g⁻¹) arasında kök uzunluğu değerlerini tespit etmişlerdir. Ji ve ark. (2020), 2 yaşındaki *Juglans mandshurica*, *Fraxinus mandshurica* ve *Phellodendron amurense* türleriyle yapılan çalışmada, spesifik kök alanı ve spesifik kök uzunluğu bakımından türler arasında morfolojik bakımından farklılıklar olduğunu ifade etmişlerdir.

Spesifik kök uzunluğu (SRL, m/g) birim kök kütlesi başına ne kadar kök uzunluğunun oluşturulduğunu ifade etmektedir (Kramer ve Boyer, 1995; Ryser, 2006). Spesifik kök alanı (SRA, cm^2/g) birim kök kütlesi başına kök alanıdır (Liese ve ark., 2019). SRL (spesifik kök uzunluğu) ve SRA (spesifik kök alanı), ince köklerin morfolojisini ve fizyolojik fonksiyonunu karakterize etmek için ifade edilen iki parametredir (Ostonen ve ark., 2007). Beş yaşındaki *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides* ve *Prunus avium*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Carpinus betulus* fidanlarında Nisan 2014'te sulama rejimleri (kuraklık, kontrol) başlatılan uygulamada 2015 Eylül'de sökülen fidanlarda spesifik kök uzunluğu, spesifik kök alanı ölçümleri yapılmış ve *Tilia cordata* hariç diğer türlerde spesifik kök uzunluğu ve spesifik kök alanı kuraklıkla beraber düştüğü görülmüştür (Liese ve ark., 2019). *Quercus alba* ve *Quercus rubra* türlerinde 1 yaşındaki fidanlar alınıp, kaplara dikilmiştir. 15 ay sonra yapılan ölçümler sonucunda türler arasında spesifik kök alanı ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) ve spesifik kök uzunlukları ($\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$) arasında önemli farklılıklar görülmüştür (Suseela ve ark., 2020). *Quercus ilex*, *Quercus trojana* ve *Quercus virgiliana* türlerinin tomurcukların toprak üzerine çıkmasından 2 ay sonra fidan boyları ölçülmüş ve türler arasında farklılıklar tespit edilmiş, fidan boyları *Quercus virgiliana* için 8,50 cm, *Quercus ilex* için 13,82 cm ve *Quercus trojana* 11,79 cm olarak belirlenmiştir ve 160 gün sonra bir daha yapılan ölçümlerde toplam kök alanı (cm^3), toplam kök uzunlukları (m) bakımından da türler arasında farklılıklar tespit edilmiştir (Chiatante ve ark., 2015). Yukarıda özetlenen fidan boyu, kök boğazı çapı ve yan dal sayısı, kök hacmi, kök alanı, kök uzunluğu gibi temel morfolojik özelliklere (büyüme parametrelerine) ilişkin tüm çalışmalarda elde edilen bulgular, bu araştırmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir.

4.7 İklim Özellikleri ve İklim Tipleri'ne İlişkin Tartışma

FAO'ya göre, yağış sınıflandırmasında yetişme alanlarının yıllık ortalama yağışının 100-300 mm arası "Kurak", 300-600 mm arası "Yarı kurak" diye belirtilmiştir (Arslan, 2017). Çalışmamızdaki Doğu kayını orijinlerinin yetişme ortamları bu kapsamda incelendiğinde, ortalama yıllık yağışlar Bolu (875 m) orijini 706 mm (Tablo 2), İstanbul (180 m) orijini 858 mm (Tablo 3), Zonguldak (500 m) orijini 761 mm (Tablo 4), Giresun (1290 m) orijini 614 mm (Tablo 5) olduğu görülmüştür.

Bu verilere göre, bu bölgelerin yağış ortalamaları 600 mm'den büyük olduğu için kurak veya yarı kurak olarak sınıflandırılmamaktadır. İklim tiplerinin tespiti için Thornthwaite İklim Sınıflandırmasından faydalanılmıştır. Thornthwaite İklim Sınıflandırmasında, Yağış etkinlik indeksine göre Bolu, Zonguldak ve Giresun orijinleri C2 Yarı nemli, İstanbul orijinleri B1 Nemli iklim tipine; Sıcaklık etkinlik indeksine göre, Bolu ve Giresun orijinleri B'1, 1. Derecede, İstanbul ve Zonguldak orijinleri B'2, 2. Derecede Mezotermal iklim özelliğine; Yağışlı iklimler için Kuraklık indeksine göre, tüm orijinlerin su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan (s) iklim tipine; Aylık potansiyel evapotranspirasyonunun (mm) (Etp) üç yaz ayına oranı indeksine göre, Bolu, İstanbul ve Zonguldak orijinleri b'4, Okyanus iklimine yakın iklim, Giresun orijini ise b'3, Okyanus iklimine yakın iklim özelliğe sahip oldukları belirlenmiştir.

Çalışmamızdaki Doğu kayını orijinlerinin ortalama yıllık sıcaklıkları ise Bolu (875 m) orijini 10,7 °C (Tablo 2); İstanbul (180 m) orijini 13,9 °C (Tablo 3); Zonguldak (500 m) orijini 12,5 °C (Tablo 4); Giresun (1290) orijini 8,7 °C (Tablo 5) olarak tespit edilmiştir. Bu verilere göre ortalama yıllık sıcaklık en çok İstanbul orijininde; en düşük ise Giresun orijininde olduğu görülmektedir.

Elde edilen su bilânçosu ve diyagramına göre genellikle yağışlar ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart ve nisan aylarında (sadece Giresun için kasımda başlamaktadır), düzeltilmiş PE'den fazladır. Bu yüzden ekim ayından itibaren toprakta su depolanmaya başlamaktadır. Aralıktaki yağışlarla da beraber toprakta su depolandığı için ocak ayında toprak doymuş halde olmaktadır. Kısaca depo değişikliği kışın tüm orijinlerde %100'ü bulmaktadır. Ocak, şubat, mart ve nisan aylarında yağış düzeltilmiş PE'den fazla olduğu için bu aylarda su fazlası oluşmaktadır. Mayıs ayından itibaren düzeltilmiş PE yağıştan fazla olmaya başladığı için sıcaklığın bu aylardan sonra yükselmesiyle beraber toprakta depolanmış olan su kullanılmaya hazırdır. Zonguldak, Giresun ve Bolu için mayıs ve haziran da; İstanbul için mayıs da su noksanı bulunmamaktadır. Hazirandan sonra (İstanbul için haziranda başlıyor) topraktaki depolanmış su biteceğinden toprakta su noksanı meydana gelmektedir. Su noksanı bakımından Bolu için temmuz (28 mm), ağustos (73,6 mm), eylül (38,2 mm); İstanbul için haziran (16,1 mm), temmuz (109,8 mm), ağustos (89,1 mm), eylül (18,9 mm); Zonguldak için temmuz (51,9 mm), ağustos (69,3 mm), eylül (29,9 mm); Giresun için

temmuz (21 mm), ağustos (86,2 mm), eylül (38 mm), ekim (2,8 mm) olarak hesaplanmıştır. Su fazlası yıllık değerleri Bolu (188,5 mm), İstanbul (330,6 mm), Zonguldak (199 mm) ve Giresun (169,6 mm) olarak belirlenmiştir.

Topraktaki suyun tükenmesiyle buharlaşma miktarı yalnız yağış kadar oluşmaktadır. Sonuçlara bakıldığında ağustos ayında tüm orijinlerde (İstanbul orijini için temmuz ayında) diğer aylara göre su noksanlığı en yüksek değer aldığı ve kasımdan sonra yağışlar arttığı için yağışların PE'yi aralıkta karşılamaya başladığı görülmektedir. Thornthwaite metoduna göre oluşturulan tüm su bilânçosu diyagramları göz önüne alındığında, İstanbul (180 m) orijinin diğer orijinlere kıyasla en alt rakımda yer alması, yıllık en yüksek sıcaklık ve yağış değerlerine sahip olması, yağışın çok yoğun olduğu aylardaki su fazlalığının ve kurak aylarda meydana gelen su noksanının da en fazla bu orijinde bulunması dolayısıyla kuraklık stresine en toleranslı olarak İstanbul orijininin olduğu görülmüştür.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz sorunları arasında küresel ısınma ve iklim değişikliği önemli bir yer tutmaktadırlar ve bu sorunları çözüme kavuşturmak için birçok bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarla, sıcaklığın artmasının, yağış miktarının azalmasının, mevsimsel değişimlerin ve meydana gelen su eksikliğinin karşısında bitkilerin verdiği tepkiler incelenerek, kuraklığa karşı toleranslı olup olmadıklarının tespiti amaçlanmaktadır. İklim değişikliğiyle ortaya çıkan kuraklık abiyotik stres faktörlerinden bir tanesidir ve ormanlar üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bitkiler su eksikliğinden dolayı kuraklık stresiyle karşılaşmaktadırlar ve farklı tepkiler vermektedirler. Bu yüzden bitkilerin anatomik, morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin tespiti kurak ve yarı kurak bölgelerdeki ağaçlandırma çalışmaları için önemlidir. Kuraklığa dayanıklı orijinlerin belirlenmesi gelecekteki ormancılık çalışmaları için faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, Bolu (875), İstanbul (180 m), Zonguldak (500 m) ve Giresun (1290) orijinli yetiştirilen fidanlar 2. büyüme döneminde 3 farklı sulama rejimine ayrılarak 15 gün süreli kuraklık stresi uygulamalarına tabi tutulmuşlardır. Kuraklık stresi uygulamasından sonra orijinlerin ilk önce toplam klorofil içeriği, klorofil floresansı değerleri ölçülmüştür. Orijinlerden alınan kök numuneleriyle kök hacimleri, kök alanları ve kök uzunlukları belirlenip; yaprak numuneleriyle de nisbi su içeriği, H_2O_2 ve MDA analizleri yapılmıştır. Ayrıca, fidanların temel morfolojik özellikleri (büyüme parametreleri) ölçülmüştür.

Sulama rejimlerine göre gruplandırılan orijinlere bağlı olarak temel stres parametrelerinin (fizyolojik özelliklerinin) anlamlı farklılıklar oluşturdukları istatistiksel olarak ($p < 0,05$) ortaya koyulmuştur. Nisbi su içeriği, toplam klorofil içeriği ve klorofil floresansı değerlerinin, kuraklık stresi altındaki gruplarda, kontrol grubuna kıyasla, her orijinde azaldığı fakat İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre bu değişimin az olduğu; H_2O_2 içerikleri, MDA seviyeleri kuraklık stresi altındaki gruplarda, kontrol grubuna kıyasla, her orijinde arttığı ama bu artışın İstanbul (180 m) orijininde diğerlerine göre daha az olduğu görülmüştür. Fidanların morfolojik özellikleri bakımından Bolu, İstanbul, Zonguldak ve Giresun orijinleri arasında anlamlı farklılıkların olduğu belirtilmiştir.

Bu özellikler açısından İstanbul (180 m) orijini FB, KBÇ, yandal sayısı, kök alanı, kök hacmi ve kök uzunluğu bakımından en yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, orijinlerin rakımları da dikkate alındığında, İstanbul orijininin kuraklık stresi uygulamalarından en az etkilenen orijinin olması, en alt rakımda da yer alması, büyüme parametreleri bakımından en iyi kök ve gövde gelişimine sahip olması dolayısıyla kuraklık stresine en toleranslı orijin olduğu belirlenmiştir.

Ekolojik koşullar karşısında çok fazla insan müdahalesi olmadığı için yapılan çalışmalarla kuraklık stresine toleranslı olan ya da diğerlerine göre daha yüksek performansı olan orijinlerin belirlenmesi ile sürdürülebilirlik sağlanabilir. Kuraklık stresi koşullarında orijinlerin temsil ettiği iklim ve yetiştirme ortamı şartları ile bu çalışmadan elde edilen bulgular birlikte incelendiğinde; kuraklığa tolerans açısından orijinler temsil ettikleri iklim değerlerinin karakteristiklerini yansıttıkları, yağışların az, sıcaklığın fazla olduğu bölgelerdeki orijinlerin kuraklık stresine karşı daha toleranslı olduğu anlaşılmıştır.

Yükselti farklılığı dikkate alındığında da kuraklığın daha fazla yaşandığı alt yükseltilerdeki orijinlerin kuraklık stresine daha fazla tepki verdiği birçok çalışmada görülmüştür. Yarı kurak ve kurak bölgelerde yapılabilecek ağaçlandırma çalışmalarında tohum transfer bölgeleri dışına çıkılmadan yağış miktarının daha az sıcaklığın daha fazla olduğu alt yamaçların orijinlerinden fidan üretilmesi yoluna gidilmesinin başarıyı artıracığı düşünülmektedir. Buradaki mevcut çalışmamızın gelecekte yapılacak uygulamalar için temel oluşturacağına ve Doğu kayınının ülkemiz için kuraklık stresi sonucunda vereceği yanıtlar konusunda da destek olacağına inanıyoruz. Bu bağlamda bu çalışmanın sonuçları dikkate alındığında Batı Karadeniz ve Marmara bölgesinde yapılabilecek ağaçlandırma uygulamalarında rakım ve tohum transfer noktaları göz önüne alınarak bölgede yaz kuraklığının fazla hissedildiği yerlerde kuraklık stresine daha fazla dayanıklı olarak tespit edilen İstanbul orijinlerinin kullanılması önerilmektedir. Ülkemizde gelecekte yaşanabilecek olası bir kuraklıkta, kuraklık şiddetinin çok ciddi olmaması halinde, İstanbul orijinli Doğu kayını tohumlarının varlıklarını devam ettirebilecekleri düşünülmektedir. Kayın ağaçlandırma çalışmalarında alçak rakımlardan alınan orijinlerin daha yüksek rakımlarda kullanılması daha başarılı sonuçlar verebilir.

Daha detaylı bir sonuca ulaşılabilmesi için Tüm Karadeniz boyunca yayılış yapan ve Akdeniz bölgesindeki Hatay-Amanos dağlarında lokal yayılış gösteren Doğu kayını orijinlerinde de denemeler yapılarak daha fazla kuraklık stresi çalışmalarının yapılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Abd Elhamid, E. M., Sadak, M. S., Tawfik, M. M., 2016. Physiological response of Fenugreek plant to the application of proline under different water regimes. *Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences*, 7(3), 580-594.
- Abd Elhamid, E. M. A., Sadak, M. S., Ezzo, M. I., Abdalla, A. M., 2021. Impact of glycine betaine on drought tolerance of Moringa oleifera plant grown under sandy soil. *Asian Journal of Plant Sciences*, 20(4), 578-589.
- Abdalla, M. M., El-Khoshiban, N. H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two Triticum aestivum cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), 2062-2074.
- Abdalla, A., Sadak, M. S., Abd Elhamid, E., Ezo, M., 2022. Amelioration of drought stress reduced effects by exogenous application of L-Phenylalanine on Moringa oleifera. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(8), 523-532.
- Adda, A., Sahnoune, M., Kaid-Harch, M., Merah, O., 2005. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *Comptes rendus, Biologies*, 328(10-11), 918-927.
- Agarwal, P. K., Agarwal, P., Reddy, M. K., Sopory, S. K., 2006. Role of DREB transcription factors in abiotic and biotic stress tolerance in plants. *Plant cell reports*, 25, 1263-1274.
- Ahmed, M. M. M., Sadak, M. S., 2016. Effect of putrescine foliar application on wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under water stress conditions. *International Journal of PharmTech Research*, 9(8), 94-102.
- Akbaş, A., 2014. Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12(2), 101-118.
- Akça, H., Yazıcı, I., 1999. İzmir yöresinde yetiştirilen Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) fidanlarında değişik sulama miktarlarında oluşan fizyolojik değişiklikler. *Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten*, 13(41).
- Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., Kurt, L., 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29-42.

- Aksu, Y., Tilki, F., 2015. Orijin ve tohum büyüklüğünün *Quercus pontica* fidanlarının yaşama yüzdesi ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 216-226.
- Alam, S. M., 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. Handbook of plant and crop stress, 2, 285-313.
- Alemdağ, Ş., 1963. Tokat mintikasındaki Doğu kayınında bazı artım ve büyüme münasebetleri ve bu ormanlara uygulanacak idare müddeti. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi*, 12, Ankara.
- Ali, Q. ve Ashraf, M., 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(4), 258-271.
- Alizadeh, A., Alizade, V., Nassery, L., Eivazi, A., 2011. Effect of drought stress on apple dwarf rootstocks. *Technical Journal of Engineering and Applied Science*, 1(3), 86-94.
- Altun, L., Yavuz, H., Baskent, E. Z., Yilmaz, M., 2002. Evaluating tree mortality in pure spruce stand using environmental and dendroclimatic factors. *Journal of Balkan Ecology*, 5(2), 168-175.
- Angelopoulos, K., Dichio, B., Xiloyannis, C., 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of experimental botany*, 47(8), 1093-1100.
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., Zou, C. M., 2011a. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and crop science*, 197(3), 177-185.
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C., Lei, W., 2011b. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.
- Anonim, 1985. Kayın, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi No: 42, Ankara, 88.
- Anonim, 2022. Türkiye Tarımsal Kuraklıkla Mücadele Stratejisi ve Eylem Planı (2023-2027). *Tarım ve Orman Bakanlığı*, Ankara.

- Anşin, R., 1983. Türkiye'nin Flora bölgeleri ve bu bölgelerde yayılan asal vejetasyon tipleri. *Karadeniz Üniversitesi Dergisi*, 6(2), 318-339.
- Anşin, R. ve Özkan, C. Z., 2001. Tohumlu bitkiler (Spermatophyta) odunsu taksonlar, Trabzon.
- Apholo, P. ve Rikala, R., 2003. Field Performance of Silver-Birch Planting-Stock Grown at Different Spacing and in Containers of Different Volume. *New Forests*, 25, 93-108.
- Aranda, I., Gil, L., Pardos, J. A., 2005. Seasonal changes in apparent hydraulic conductance and their implications for water use of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) in South Europe. *Plant Ecology*, 179, 155-167.
- Ardel, A., Kurter, A., Dönmez, Y., 1969. Klimatoloji Tatbikatı, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 1123, Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Enstitüsü Yayın No: 40, Taş Matbaası, İstanbul.
- Arslan, M., 2017. Dar yapraklı Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) fidanlarının su eksikliğine tepkisi, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Ashraf, M., 2003. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of Blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) under salinity or waterlogging. *Plant science*, 165(1), 69-75.
- Ata, C., 1995. Silvikültürün temel prensipleri. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi Ders Notları, Üniversite Yayın No: 1, Fakülte Yayın No: 1, Bartın, 85-86.
- Atalay, İ., 1992. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarının ekolojisi ve tohum transferi yönünden bölgelere ayrılması. Orman Bakanlığı Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Yayın No:5, Ankara.
- Atalay, İ., 2008. Ekosistem ekolojisi ve coğrafyası, Cilt II, Meta Basım Matbaacılık.
- Atar, E., 2021. Kuzey Anadolu Sapsız Meşesi (*Quercus petraea* subsp. *iberica*) fidanlarında kuraklık stresinin bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine etkisi ile morfolojik özellikler arasındaki ilişkinin analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Atar, F. ve Turna, İ., 2018. Fruit and seedling diversity among Sweet Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) populations in Turkey. *Sumarski List*, 142(11-12), 611-619.
- Atar, F., Atar, E., Bayraktar, A., Turna, İ., 2018. Growth Performance in Seedlings of Common Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in Nursery Conditions. *International Congress on Engineering and Life Sciences*, Kastamonu.
- Atar, F., Güney, D., Bayraktar, A., Yıldırım, N., Turna, İ., 2020. Seasonal change of chlorophyll content (spad value) in some tree and shrub species. *Turkish Journal of Forest Science*, 4(2), 245-256.
- Atay, İ., 1982a. Doğal gençleştirme yöntemleri I. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın No: 306, İstanbul.
- Atay, İ., 1982b. Doğal gençleştirme yöntemleri II. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın No: 320, İstanbul.
- Atik, A., 2013. Zonguldak-Gökçebey orman fidanlığında üretilen 2+0 yaşlı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) fidanlarının kalite sınıflarının oluşturulması ve TSE normlarına göre değerlendirilmesi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 8(2), 1-12.
- Atik, H.A., 2008. Doğal maddelerin (Biyohumus ve Baykal Em1) Doğu Kayınında (*Fagus orientalis* Lipsky.) bazı morfolojik fizyolojik proseslere etkisi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Ayan, S. ve Tilki, F., 2007. Morphological attributes of Oriental Spruce (*Picea orientalis* L.) seedlings grown in peat-based media amended with natural zeolite. *Acta Agronomica Hungarica*, 55, 363-373.
- Ayan, S., Civek, E., Çelik, E. N. Y., Gülseven, O., Akın, Ş. S., Yılmaz, E., 2020a. Akdeniz ve Arizona Servisi fidanlarının morfolojik kalite özellikleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 580-590.
- Ayan, S., Gedik, F., Çelik, E. N. Y., Gülseven, O., Yılmaz, E., Akın, Ş. S., Özel, H. B., 2020b. Bazı geniş yapraklı orman ağacı fidanlarının morfolojik özellikleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1), 245-255.
- Ayan, S., Çelen, F., İmal, B., 2022. Tüplü Toros Sediri fidanlarında morfolojik ve fizyolojik bazı özellikler ile fidan gelişim evreleri (Çankırı Orman Fidanlığı). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 272-288.

- Aydınözü, D. ve İmat, F., 2013. Türkiye’de Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*)’nın yeni bir yayılış alanı: Ilgaz dağları. *Coğrafya dergisi*, (27), 38-45.
- Ayıntaplı, P., 1995. Serinyol ve Tekir fidanlıklarında üretilen Kızılçam, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri fidanlarında kalite sınıflaması araştırmaları. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bakhoun, G. S., Badr, E. A. E., Sadak, M. S., Kabesh, M. O., Amin, G. A., 2019. Improving growth, some biochemical aspects and yield of three cultivars of soybean plant by methionine treatment under sandy soil condition. *International Journal of Environmental Research*, 13, 35-43.
- Bakhoun, G., Sadak, M., Tawfic, M., 2022. Chitosan and chitosan nanoparticle effect on growth, productivity and some biochemical aspects of *Lupinus termis* L. plant under drought conditions. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(5), 537-549.
- Bakhoun, G. S., Sadak, M. S., Thabet, M. S., 2023. Induction of tolerance in groundnut plants against drought stress and Cercospora leaf spot disease with exogenous application of arginine and sodium nitroprusside under field conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 6612-6631.
- Bakry, B. A., El-Hariri, D. M., Sadak, M. S., El-Bassiouny, H. M. S., 2012. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(7), 3503-3514.
- Bakry, A. B., Sadak, M. S., El-Karamany, M. F., Tawfik, M. M., 2019. Sustainable production of two wheat cultivars under water stress conditions. *Plant Archives*, 19(2), 2307-2315.
- Baliuckas, V., Ekberg, I., Eriksson, G., Norell, L., 1999. Genetic variation among and within populations of four Swedish hardwood species assessed in a nursery trial. *Silvae Genetica*, 48(1), 17-25.
- Baquedano, F. J., Castillo, F. J., 2007. Drought tolerance in the Mediterranean species *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, and *Juniperus phoenicea*. *Photosynthetica*, 45, 229-238.
- Baskin, T. I., Meekes, H. T. H. M., Liang, B. M., Sharp, R. E., 1999. Regulation of growth anisotropy in well-watered and water-stressed maize roots. II. Role of

- cortical microtubules and cellulose microfibrils. *Plant Physiology*, 119(2), 681-692.
- Beck, E. H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., Bhattarai, T., 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal of biosciences*, 32, 501-510.
- Becker, C. A., Mroz, G. D., Fuller, L. G., 1987. The effects of plant moisture stress on red pine (*Pinus resinosa*) seedling growth and establishment. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(8), 813-820.
- Bewley, J. D. ve Black, M., 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination. *Plenum Press*, New York, 445.
- Bhargava, S. ve Sawant, K., 2013. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant breeding*, 132(1), 21-32.
- Bhattacharjee, S., 2005. Reactive oxygen species and oxidative burst: roles in stress senescence and signal transduction in plants. *Current Science*, 89(7), 1113-1121.
- Bigras, F. J., 2005. Photosynthetic response of white spruce families to drought stress. *New Forests*, 29, 135-148.
- Bilgin, S., 2019. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.), Palamut meşesi (*Quercus ithaburensis* Decne. subsp. *macrolepis* (Kotschy) Hedge & Yalt.) ve Saçlı meşe (*Quercus cerris* L.) Fidanlarının Fidan Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(4), 297-304.
- Björkman, O. ve Demmig, B., 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170, 489-504.
- Blum, A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field crops research*, 112(2-3), 119-123.
- BMCMS, 1997. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi, Paris.
- Bonner, F. T., 1990. Storage of seeds: potential and limitations for germplasm conservation. *Forest ecology and management*, 35(1-2), 35-43.
- Bota, J., Medrano, H., Flexas, J., 2004. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? *New phytologist*, 162(3), 671-681.

- Bray, E. A., 2001. Plant response to water-deficit stress. *Encyclopedia of Life Sciences, University of Chicago*.
- Brestic, M. ve Zivcak, M., 2013. PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. *In Molecular stress physiology of plants*, 87-131. India: Springer India.
- Brestic, M., Zivcak, M., Hauptvogel, P., Misheva, S., Kocheva, K., Yang, X., Li, X., Allakhverdiev, S. I., 2018. Wheat plant selection for high yields entailed improvement of leaf anatomical and biochemical traits including tolerance to non-optimal temperature conditions. *Photosynthesis Research*, 136, 245-255.
- Brett, W. J. ve Singer, A. C., 1973. Chlorophyll concentration in leaves of *Juniperus virginiana* L. measured over a 2-year period. *American Midland Naturalist*, 194-200.
- Bruschi, P., 2010. Geographical variation in morphology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. as related to drought stress. *Plant Biosystems*, 144(2), 298-307.
- Bulut, B., 2008. Kılıçkaya Orijinli Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Fidanlarına Ait Bazı Temel Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklerin Mevsimsel Olarak Araştırılması, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Büyük, İ., Soydam-Aydın, S., Aras, S., 2012. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 69(2), 97-110.
- Büyük, İ., 2014. Tuz ve kuraklık stresi altında geliştirilmiş farklı fasülye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinde LEA-3 geni mRNA ifade seviyelerinin kantitatif real-time PCR yöntemiyle incelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Cai, Z. Q., Chen, Y. J., Guo, Y. H., Cao, K. F., 2005. Responses of two field-grown coffee species to drought and re-hydration. *Photosynthetica*, 43, 187-193.
- Calamassi, R., Della Rocca, G., Falusi, M., Paolettiinstb, E., Strati, S., 2001. Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. *Annals of Forest Science*, 58(6), 663-672.

- Cao, H.X., Sun, C.X., Shao, H.B., Lei, X.T., 2011. Effects of low temperature and drought on the physiological and growth changes in oil palm seedlings. *African Journal of Biotechnology*, 10(14), 2630-2637.
- Chakraborty, K., Mahatma, M. K., Thawait, L. K., Bishi, S. K., Kalariya, K. A., Singh, A. L., 2016. Water deficit stress affects photosynthesis and the sugar profile in source and sink tissues of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and impacts kernel quality. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 98-104.
- Chartzoulakis, K. ve Klapaki, G., 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia horticulturae*, 86(3), 247-260.
- Chaves, M. M., 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of experimental Botany*, 42(1), 1-16.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., Pereira, J. S., 2003. Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, 30(3), 239-264.
- Chaves, M. M., ve Oliveira, M. M., 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2365-2384.
- Cheeseman, K. H., ve Slater, T. F., 1993. Serbest radikal biyokimyasına giriş. *İngiliz Tıp Bülteni*, 49, 481-493.
- Chen, J., Li, Y., Luo, Y., Tu, W., Wan, T., 2019. Drought differently affects growth properties, leaf ultrastructure, nitrogen absorption and metabolism of two dominant species of Hippophae in Tibet Plateau. *Acta physiologiae plantarum*, 41(1), 1.
- Chernyad'ev, II., 2005. Effect of water stress on the photosynthetic apparatus of plants and the protective role of cytokinins: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41, 115-128.
- Chiatante, D., Tognetti, R., Scippa, G. S., Congiu, T., Baesso, B., Terzaghi, M., Montagnoli, A., 2015. Interspecific variation in functional traits of oak seedlings (*Quercus ilex*, *Quercus trojana*, *Quercus virgiliana*) grown under artificial drought and fire conditions. *Journal of Plant Research*, 128, 595-611.

- Coşgun, S., Şahin, M., Özkurt, N., Parlak, S., 2008. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) fidanlarında kalite sınıflarının belirlenmesi, *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten*, 29.
- Cotrozzi, L., Remorini, D., Pellegrini, E., Landi, M., Massai, R., Nali, C., Guidi, L., Lorenzini, G., 2016. Variations in physiological and biochemical traits of oak seedlings grown under drought and ozone stress. *Physiologia plantarum*, 157(1), 69-84.
- Cotrozzi, L., Remorini, D., Pellegrini, E., Guidi, L., Lorenzini, G., Massai, R., Nali, C., Landi, M., 2017. Cross-talk between physiological and metabolic adjustments adopted by *Quercus cerris* to mitigate the effects of severe drought and realistic future ozone concentrations. *Forests*, 8(5), 148.
- Cüce, H., Kalıpcı, E., Taş, B., Yılmaz, M., 2020. Yükselti farklılığı nedeniyle oluşan meteorolojik değişimlerin su kalitesine olan etkilerinin CBS ile değerlendirilmesi: Morfolojik olarak farklı iki göl için bir karşılaştırma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 1-26.
- Çalıkoğlu, M., 2002. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *Pallasiana* Lamb. Holmboe) orijinlerinin kuraklıklara karşı reaksiyonlarını Ekofizyolojik Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çalışkan, S. ve Boydak, M., 2017. Afforestation of arid and semiarid ecosystems in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(5), 317-330.
- Çelik, Ö., Ayan, A., Atak, Ç., 2017. Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. *Botanical Studies*, 58, 1-13.
- Çepel, N., 1995. Orman Ekolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3886, Orman Fakültesi Yayın No:433, İstanbul.
- Çetin, F., 2018. Farklı Ploidi seviyelerine sahip Türk Buğday çeşitlerinde kuraklık stresi altında fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin incelenmesi, Yüksek lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Çetin, M., 2020. The Changing of Important Factors in The Landscape Planning Occur Due to Global Climate Change in Temperature, Rain and Climate Types: A Case Study of Mersin City. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2695-2701.

- Çırak, C. ve Esendal, E., 2006. Soyada kuraklık stresi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 231-237.
- Çiçek, E., Çiçek, N., Tilki, F., 2011. Four-year field performance of *Fraxinus angustifolia* Vahl. and *Ulmus laevis* Pall. seedlings grown at different nursery seedbed densities. *Research Journal of Forestry*, 5(2), 89-98.
- Çoban, A., 2013. Sungurlu-Boğazkale yöresinin iklim tipleri ve bazı öneriler. *International Journal of Social Science*, 6(3), 149-158.
- Çolak, E. Ve Memişoğlu, T., 2021. Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemine göre Karadeniz Bölgesi iklim sınır haritasının CBS ile üretilmesi. *Geomatik*, 6(1), 31-43.
- Damour, G., Vandame, M., Urban, L., 2009. Long-term drought results in a reversible decline in photosynthetic capacity in mango leaves, not just a decrease in stomatal conductance. *Tree Physiology*, 29(5), 675-684.
- Dawood, M. G. ve Sadak, M. S., 2014. Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(4), 943-954.
- Deligöz, A. ve Bayar, E., 2018. Drought stress responses of seedlings of two oak species (*Quercus cerris* and *Quercus robur*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(2), 114-123.
- Deligöz, A. ve Bayar, E., 2021. Makedonya meşesi (*Quercus trojana* PB Webb.) fidanlarında kuraklık stresinin su potansiyeli ve gaz değişim parametreleri üzerindeki etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 22(4), 366-370.
- Demir, E., 2019. Bazı Anadolu Karaçam'ı (*Pinus nigra* J.F. Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) orijinlerinde tohum ve fidan aşamasında kuraklığa dayanıklılığı, Yüksek lisans tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Çankırı.
- Demir, Y., Doğan Demir, A., Meral, R., Yüksel, A., 2015. Bingöl Ovası iklim tipinin Thornthwaite ve Erinç indisine göre belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(4), 332-337.
- Derkx, M. P. M. ve Joustra, M. K., 1997. Dormancy breaking and short-term storage of pretreated *Fagus sylvatica* seeds. In *Basic and Applied Aspects of Seed Biology: Proceedings of the Fifth International Workshop on Seeds*, Reading, 269-278.

- Didion-Gency, M., Gessler, A., Buchmann, N., Gisler, J., Schaub, M., Grossiord, C., 2022. Impact of warmer and drier conditions on tree photosynthetic properties and the role of species interactions. *New Phytologist*, 236(2), 547-560.
- Dirik, H., 1993. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) da bazı önemli fidan karakteristikleri ile dilmim başarısı arasındaki ilişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 43(2), 51-76.
- Doğan, S. ve Tüzer, M., 2011. Küresel iklim değışikliğı ve potansiyel etkileri. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 21-34.
- Doğru, A., 2019. Bazı arpa genotiplerinde kurşun toleransının klorofil a floresansı ile değeriendirilmesi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(2), 228-238.
- Doğru, A., 2020. Bitkilerde aktif oksijen türleri ve oksidatif stres. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 3(2), 205-226.
- Donahue, J. K. ve Upton, J. L., 1996. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* in navite forests. *Forest Ecology and Management*, 82(1-3), 145-157.
- Dreyer, E., Epron, D., Matig, O. Y., 1992. Photochemical efficiency of photosystem II in rapidly dehydrating leaves of 11 temperate and tropical tree species differing in their tolerance to drought. *In Annales des sciences forestières*, 49(6), 615-625.
- Dubey, R.S., 1997. Photosynthesis in plants under stressful conditions. *In: Pessarakli M (ed) Handbook of photosynthesis. Dekker, New York*, 859-875.
- Dursun, İ., ve Yazıcı, N., 2022. Köppen-trewartha ve thornthwaite yöntemlerine göre Isparta yöresi iklim tipinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2), 264-279.
- Echevarría-Zomeño, S., Ariza, D., Jorge, I., Lenz, C., Del Campo, A., Jorrín, J. V., Navarro, R. M., 2009. Changes in the protein profile of *Quercus ilex* leaves in response to drought stress and recovery. *Journal of Plant Physiology*, 166(3), 233-245.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ., Sönmez, S., 2013. Balıkesir'in ağaçları ve çalıları. Balıkesir Belediyesi Kent Arşivi Yayınları No: 7, 350.

- El Atta, H. A., Aref, I. M., Ahmed, A. I., Khan, P. R., 2012. Morphological and anatomical response of *Acacia ehrenbergiana* Hayne and *Acacia tortilis* (Forssk) Haynes subspp. raddiana seedlings to induced water stress. *African Journal of Biotechnology*, 11(44), 10188-10199.
- Epron, D. ve Dreyer, E., 1992. Effects of severe dehydration on leaf photosynthesis in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.: photosystem II efficiency, photochemical and nonphotochemical fluorescence quenching and electrolyte leakage. *Tree Physiology*, 10(3), 273-284.
- Erinç, S., 1984. Klimatoloji ve Metotları, *İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü*, Yayın No: 2, İstanbul.
- Eriş, A., 1990. Bahçe bitkileri fizyolojisi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Notları No: 11, Bursa.
- Ertekin, M., Kirdar, E., Ayan, S., 2015. Effects of tree ages, exposures and elevations on some seed characteristics of Oriental beech (*Fagus orientalis*). *Seefor-South-East European Forestry*, 6 (1), 15-23.
- Ertuğrul, M., Özel, H. B., Varol, T., Çetin, M., Sevik, H., 2019. Investigation of the relationship between burned areas and climate factors in large forest fires in the Çanakkale region. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-12.
- Ertuğrul, M., Varol, T., Özel, H. B., Çetin, M., Sevik, H., 2021. Influence of climatic factor of changes in forest fire danger and fire season length in Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 193, 1-17.
- Esen, F. ve Avcı, V., 2020. Berit Dağları'nda (Kahramanmaraş) litolojik ve jeomorfolojik faktörlerin bitki örtüsünün dağılışına etkisi. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 19(3), 664-685.
- Eyüboğlu, A. K. ve Karadeniz, A., 1987. Doğu kayınında (*Fagus orientalis* Lipsky.) dikim anındaki fidan boy ve çapı ile üç yıllık boy büyümesi arasındaki ilişkiler, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten Serisi* No: 185, Ankara.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D., Basra, S. M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.
- Farquhar, G. D. Ve Sharkey, T. D., 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual review of plant physiology*, 33(1), 317-345.

- Farquhar, G. D. ve Richards, R. A., 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Functional Plant Biology*, 11(6), 539-552.
- Farquhar, G. D., Wong, S. C., Evans, J. R., Hubic, K. T., 1989. Photosynthesis and gas exchange. *Plant under Stress. Cambridge University Press*, Cambridge, 47–69.
- Fotelli, M. N., Radoglou, K. M., Constantinidou, H. I., 2000. Water stress responses of seedlings of four Mediterranean oak species. *Tree physiology*, 20(16), 1065-1075.
- Gallé, A. ve Feller, U., 2007. Changes of photosynthetic traits in beech saplings (*Fagus sylvatica*) under severe drought stress and during recovery. *Physiologia plantarum*, 131(3), 412-421.
- Gaweł, S., Wardas, M., Niedworok, E., Wardas, P., 2004. Dialdehyd malonowy (MDA) jako wskaźnik procesów peroksydacji lipidów w organizmie. *Wiad Lek*, 57(9-10), 453-45.
- Genç, M., 2004. Silvikültürün temel esasları. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 44, Isparta.
- Gessler, A., Keitel, C., Kreuzwieser, J., Matyssek, R., Seiler, W., Rennenberg, H. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21, 1-11.
- Gezer, A., 1986. Doğu kayınında tohum ve fidan üretimi, *T.C. Tarım, Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Ağaçlandırma ve Silvikültür Dairesi Başkanlığı*, Ankara.
- Gómez-Pineda, E., Sáenz-Romero, C., Ortega-Rodríguez, J. M., Blanco-García, A., Madrigal-Sánchez, X., Lindig-Cisneros, R., Lopez-Toledo, L., Pedraza-Santos, M. E., Rehfeldt, G. E., 2020. Suitable climatic habitat changes for Mexican conifers along altitudinal gradients under climatic change scenarios. *Ecological Applications*, 30(2), e02041.
- González, M. J., Miranda-Massari, J. R., Mora, E. M., Guzmán, A., Riordan, N. H., Riordan, H. D., Casciari, J.J., Jackson, J.A., Román-Franco, A., 2005. Orthomolecular oncology review: ascorbic acid and cancer 25 years later. *Integrative cancer therapies*, 4(1), 32-44.
- Goor, A.Y. ve Barney, C.W., 1968. Forest tree planting in arid zone. Second Edition, The Ronald Press Company, New York.

- Gosling, P. G., 1991. Beechnut storage: a review and practical interpretation of the scientific literature. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 64(1), 51-59.
- Gökmen, H., 1973. Kapalı Tohumlular-Angiospermeae. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Sıra No: 564, Seri No: 53, 79-82.
- Göl, C., Çelik, N., Çakır, M., Gül, E., 2008. Türkmen dağı (Evkondu Tepe) Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarının bazı yetiştirme ortamı özellikleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(1), 48-60.
- Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., Zarrouk, M., 2009. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 257-263.
- Guo, X., Luo, Y. J., Xu, Z. W., Li, M. Y., Guo, W. H., 2019. Response strategies of *Acer davidii* to varying light regimes under different water conditions. *Flora*, 257, 151423.
- Gülseven, O., Ayan, S., Özel, H. B. ve Yer, E. N., 2019. Farklı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Popülasyonlarına ait Fidanların Morfolojik ve Fizyolojik Karakteristikleri. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(3), 180-186.
- Güneri Bağcı, E., 2010. Nohut çeşitlerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi, Doktora tezi, Ankara üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güney, D., 2009. Doğu kayını'nda (*Fagus orientalis* lipsky) bazı coğrafik varyasyonların morfogenetik olarak belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gür, M., 2014. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) fidanlarının kuraklık stresine morfolojik ve fizyolojik tepkileri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Hájíčková, M., Plichta, R., Volařík, D., Urban, J., Matoušková, M., Gebauer, R., 2024. Xylem function and leaf physiology in European beech seedlings during and after moderate and severe drought stress. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(2), 213-222.
- Hasanuzzaman, M., Alam, M. M., Rahman, A., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M., 2014. Exogenous proline and glycine betaine mediated upregulation of

- antioxidant defense and glyoxalase systems provides better protection against salt-induced oxidative stress in two rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *BioMed Research International*, 17.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., Bohnert, H. J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
- Hassan, F. A. S., Ali, E. F., Alamer, K. H., 2018. Exogenous application of polyamines alleviates water stress-induced oxidative stress of *Rosa damascena* Miller var. *trigintipetala* Dieck. *South African Journal of Botany*, 116, 96-102.
- Hatipoğlu, E., 2013. Doğu gürgeni (*Carpinus orientalis* Miller)'nde yükseltiye bağlı olarak bazı morfolojik karakterlerin ve çimlenme özelliklerinin araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Hayatu, M. ve Mukhtar, F. B., 2010. Physiological responses of some drought resistant cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) to water stress. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 69-75.
- He, C. Y., Zhang, G. Y., Zhang, J. G., Duan, A. G., Luo, H. M., 2016. Physiological, biochemical and proteome profiling reveals key pathways underlying the drought stress responses of *Hippophae rhamnoides*. *Proteomics*, 16(20), 2688-2697.
- Henriques, F. S., 2009. Leaf chlorophyll fluorescence: background and fundamentals for plant biologists. *The Botanical Review*, 75, 249-270.
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., Prange, R. K., 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207, 604-611.
- Hung, S. H., Yu, C. W., Lin. C. H., 2005. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 1-10.
- İmal, B., 2015. Bazı Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) orijinlerinin dona ve kuraklığa karşı dayanıklılıklarının ekofizyolojik olarak belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- İrcan, M. R. ve Duman, N., 2021. Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına göre Şanlıurfa iklimi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 61(1), 68–93.
- Ishimwe, C., 2023. Kuraklık stresi uygulanan Defne (*Laurus nobilis* L.) fidanlarında bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimler, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- ISTA, 1991. Tree and Shrub Seed Handbook. Zurich.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal Agriculture Biology*, 11, 100–5.
- Jamnická, G., Ditmarová, L., Kurjak, D., Kmet', J., Pšidová, E., Macková, M., Gömöry, D Střelcová, K., 2013. The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought. *Plant, Soil and Environment*, 59(10), 446-451.
- Jedrowski, C., Brüggemann, W., 2015. Imaging of fast chlorophyll fluorescence induction curve (OJIP) parameters, applied in a screening study with wild barley (*Hordeum spontaneum*) genotypes under heat stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology, Biology*, 151, 153-160.
- Ji, L., Attaullah, K., Wang, J., Yu, D., Yang, Y., Yang, L., Lu, Z., 2020. Root traits determine variation in nonstructural carbohydrates (NSCs) under different drought intensities and soil substrates in three temperate tree species. *Forests*, 11(4), 415.
- Kacar, B., Katkat, A. V., Öztürk, Ş., 2002, Bitki Fizyolojisi, *VİPAŞ Yayınları Yayın* No: 74, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı* Yayın No: 198, Bursa.
- Kacar, B., Katkat, B., Öztürk, Ş., 2006. Bitki Fizyolojisi. *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Kage, H., Kochler, M., Stützel, H., 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 379-394.
- Kalefetoğlu, T. ve Ekmekçi, Y., 2005. Bitkilerde kuraklık stresinin etkileri ve dayanıklılık mekanizmaları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4), 723-740.

- Kancheva, R., Borisova, D., Georgiev, G., 2014. Chlorophyll assessment and stress detection from vegetation optical properties. *Ecological Engineering and Environment Protection*, 1, 34-43.
- Kandemir, G. ve Kaya, Z., 2009. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of Oriental beech (*Fagus orientalis*). *Bioversity International*, Rome, Italy.
- Kaya, S., 2011. Farklı sulama programları altında kayısı yaprak su içeriği ve yaprak alanının değerlendirilmesi. *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 1-9.
- Keyvan, S., 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal, Plant Sciences*, 8(3), 1051-1060.
- Khaleghi, A., Naderi, R., Brunetti, C., Maserti, B. E., Salami, S. A., Babalar, M., 2019. Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific reports*, 9(1), 19250.
- Khan, M. A. ve Beena, N., 2002. Seasonal variation in water relations of desert shrubs from Karachi, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 34, 329-340.
- Khanna-Chopra, R., Selote, D. S., 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 276-283.
- Kılıç, B., 2020. Prolin ön uygulamasının kuraklık stresi koşullarındaki Karaçam tohumlarının çimlenmesi üzerine etkilerinin araştırılması, Yüksek lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Kılıçoğlu, C., Çetin, M., Arıca, B., Sevik, H., 2021. Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 379-388.
- Kırnak, H. ve Demirtaş, M. N., 2002. Su stresi altındaki kiraz fidanlarında fizyolojik ve morfolojik değişimlerin belirlenmesi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(3), 265-270.
- Kinyua, M. G., Njoka, E. M., Gesimba, R. M., Birech, R. J., 2003. Selection of drought tolerant bread wheat genotypes using root characteristics at seedling stage. *International Journal of Agriculture and Rural Development*, 4(1), 9-15.

- Kliejunas, J. T., Geils, B. W., Glaeser, J. M., Goheen, E. M., Hennon, P., Kim, M. S., Kope, H., Stone, J., Sturrock, R., Frankel, S. J., 2009. Review of literature on climate change and forest diseases of western North America. *General Technical Report, PSW-GTR-225, Pacific Southwest Research Station, US Department of Agriculture, Forest Service, Albany, California.*
- Kocaçınar, F., Abacı, A. A., Kezik, U., 2010. Kurak ve çorak alanların rehabilitasyonunda kullanılabilecek c3 ve c4 bitkilerinde ekofizyolojik parametreler. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, C: III, 1144-1156.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V., Karabaliev, M., 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63(1-2), 121-124.
- Kozlowski, T. T. ve Pallardy, S. G., 1997. Growth Control in Woody Plants, *Academic Press San Diego*, 112-127.
- Köppen, W., 1918. Klassifikation der Klimada nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle). *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 64, 193-203.
- Kramer, P. J. ve Boyer, J. S., 1995. Water relations of plants and soils. *Academic press*.
- Kulaç, Ş., 2010. Kuraklık stresine maruz bırakılan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) fidanlarında bazı morfolojik fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kulaç, Ş., Nzokou, P., Güney, D., Cregg, B. M., Turna, İ., 2012. Growth and physiological response of Fraser fir (*Abies fraseri* (Pursh) Poir.) seedlings to water stress: seasonal and diurnal variations in photosynthetic pigments and carbohydrate concentration. *HortScience*, 47(10), 1512-1519.
- Kulaç, Ş., Turna, İ., Çiçek, E., Sağlam, A., Taşdemir, Ü., 2015. Early field performance of drought-stressed scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *Pak. J. Bot.*, 47 (4), 1317-1324.
- Kurum, R., Ulukapı, K., Aydınşakir, K., Onus, A.N., 2013. The influence of salinity on seedling growth of some pumpkin varieties used as rootstock. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 219-225.
- Landi, M., Cotrozzi, L., Pellegrini, E., Remorini, D., Tonelli, M., Trivellini, A., Nali, C., Guidi, L., Massai, R., Vernieri, P., Lorenzini, G., 2019. When “thirsty”

- means “less able to activate the signalling wave triggered by a pulse of ozone”: A case of study in two Mediterranean deciduous oak species with different drought sensitivity. *Science of the Total Environment*, 657, 379-390.
- Lei, Y., Yin, C., Li, C., 2006. Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*, 127(2), 182-191.
- León-Lobos, P. ve Ellis, R. H., 2002. Seed storage behaviour of *Fagus sylvatica* and *Fagus crenata*. *Seed Science Research*, 12(1), 31-37.
- Levitt, J., 1972. Responses of plants to environmental stresses, *Academic Press, New York*.
- Levitt, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses: Water, radiation, salt and other stres, New York, 365.
- Lias, S. A. ve Laban, S., 2020. The potential of water availability in Maros Watershed using Thornthwaite-Mather water balance method. *In IOP Conference Series, Earth and Environmental Science*, 486(1), 012135.
- Liese, R., Leuschner, C., Meier, I. C., 2019. The effect of drought and season on root life span in temperate arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal tree species. *Journal of Ecology*, 107(5), 2226-2239.
- Lisar, S. Y. S., Motafakkerazad, R., Hossain, M. M., Rahman, I. M. M., 2012. Water stress in plants: causes, effects and responses. *Introductory Chapter*, 14.
- Littell, J. S., Peterson, D. L., Riley, K. L., Liu, Y., Luce, C. H., 2016. A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Global change biology*, 22(7), 2353-2369.
- Liu, H., Sultan, M. A. R. F., Liu, X. L., Zhang, J., Yu, F., Zhao, H. X., 2015. Physiological and comparative proteomic analysis reveals different drought responses in roots and leaves of drought-tolerant wild wheat (*Triticum boeoticum*). *PLoS One*, 10(4).
- Lugojan, C. ve Ciulca, S., 2011. Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture. Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
- Maatallah, S., Nasri, N., Hajlaoui, H., Albouchi, A., Elaissi, A., 2016. Evaluation changing of essential oil of laurel (*Laurus nobilis* L.) under water deficit stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 91, 170-178.

- Mafakheri, A., Siosemardeh, A. F., Bahramnejad, B., Struik, P. C., Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian journal of crop science*, 4(8), 580-585.
- Mahajan, S. ve Tuteja, N., 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of biochemistry and biophysics*, 444(2), 139-158.
- Mamıkoğlu, N. G., 2012. Türkiye'nin ağaçları ve çalıları (Turkey's trees and shrubs). 5. Edition, *NTV yayınları*, 326-327, İstanbul.
- Manas, P., Castro, E., De las Heras, J., 2009. Quality of maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests*, 37, 295-311.
- Mathes, T., Seidel, D., Klemmt, H. J., Thom, D., Annighöfer, P., 2024. The effect of forest structure on drought stress in beech forests (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management*, 554, 121667.
- Maxwell, K., Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescencea practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659-668.
- Meier, I. C. ve Leuschner, C., 2008. Genotypic variation and phenotypic plasticity in the drought response of fine roots of *European beech*. *Tree physiology*, 28(2), 297-309.
- Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M., Rady, M. M., 2018. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228, 132-144.
- MGM, 2016. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi. *Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü*.
- Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current science*, 758-763.
- Mohammed, G. H., Binder, W. D., Gillies, S. L., 1995. Chlorophyll fluorescence applications and instrumentation. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10(1-4), 383-410.
- Namkoong, G., 1986. Genetics and forest of the future. *Unasylva*, 38, 2-18.
- Nan, M., Zhao, G. Q., Li, J., Chai, J. K., 2018. Correlation analysis and synthesize evaluation of yield and quality introduced oat varieties in the semiarid of Northwest. *Acta Agrestia Sinica*, 26(1), 125-133.

- Nielsen, N. C. ve Jorgensen, F. V., 2003. Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. *Forest Ecology and Management*, 174, 233-249.
- Niemczyk, M., Thomas, B. R., Jastrzębowski, S., 2023. Strategies for difficult times: physiological and morphological responses to drought stress in seedlings of Central European tree species. *Trees*, 37(6), 1657-1669.
- Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G., Bukhov, N. G., 2010. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57(1), 87-95.
- Ning, H., Ling, L., Sun, X., Kang, X., Chen, H., 2021. Predicting the future redistribution of Chinese white pine *Pinus armandii* Franch. Under climate change scenarios in China using species distribution models. *Global Ecology and Conservation*, 25, e01420.
- Nounjan, N., Nghia, P. T., Theerakulpisut, P., 2012. Exogenous proline and trehalose promote recovery of rice seedlings from salt-stress and differentially modulate antioxidant enzymes and expression of related genes. *Journal of plant physiology*, 169(6), 596-604.
- Odabaşı, T., Çalışkan, A., Bozkuş, H. F., 2004. Orman Bakımı. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul Üniversitesi Yayın No:4458, Orman Fakültesi Yayını No:474, İstanbul.
- Ogaya, R., Penuelas, J., Asensio, D., Llusà, J., 2011. Chlorophyll fluorescence responses to temperature and water availability in two co-dominant Mediterranean shrub and tree species in a long-term field experiment simulating climate change. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 123-127.
- OGM, 2009. Ormanlarımızda yayılış gösteren asli ağaç türleri (Erişim tarihi 25.06.2024).
- Okuma, E., Soeda, K., Tada, M., Murata, Y., 2000. Exogenous proline mitigates the inhibition of growth of *Nicotiana tabacum* cultured cells under saline conditions. *Soil science and plant nutrition*, 46(1), 257-263.

- Olmo, M., Lopez-Iglesias, B., Villar, R., 2014. Drought changes the structure and elemental composition of very fine roots in seedlings of ten woody tree species. Implications for a drier climate. *Plant and soil*, 384, 113-129.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L. S. P., 2014. Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, 5, 86.
- Ostonen, I., Püttsepp, Ü., Biel, C., Alberton, O., Bakker, M. R., Lõhmus, K., Majdi, H., Metcalfe, D., Olsthoorn, A. M. F., Pronk, A., Vanguelova, E., Weih, M., Brunner, I., 2007. Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant Biosystems*, 141(3), 426-442.
- Ögren, E. ve Öquist, G., 1985. Effects of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition susceptibility in intact willow leaves. *Planta*, 166, 380-388.
- Ögren, E., 1990. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a probe for drought stress in willow leaves. *Plant Physiology*, 93(4), 1280-1285.
- Özçelik, S., 2013. Trabzon-Düzköy yöresi yapay Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) sıklıklarında meşcere kuruluşu ve artım-büyüme ilişkisinin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdamar, F. Ö., Furtana, G. B., Ellialtıoğlu, Ş. Ş., Tıprıdamaz, R., 2016. Hidrojen peroksit ve nitrik oksit ilişkisinin bitkilerde abiyotik stres toleransındaki rolü. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 117-131.
- Özden, H., 2009. Kuraklık stresinin Kasnak meşesi (*Quercus vulcanica*) [Boiss & Heldr. ex] Kotschy ve Boz Pırnal meşesinde (*Quercus aucheri*) [Jaub. & Spach] karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özden, H. ve Bayçu, G., 2024. Physiological, oxidative, and antioxidative responses of *Quercus vulcanica* Boiss. and *Quercus aucheri* Jaub. & Spach. under drought stress conditions. *İstanbul Journal of Pharmacy*, 54(1), 69-79.
- Özel, H. B., Donduran, B., Çakmaklı, E., Sevik, H., 2020. Factors affecting success in natural regeneration works of cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) In Kas region of Antalya. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 6(2), 054-059.

- Özel, H. B., Çetin, M., Sevik, H., Varol, T., Işık, B., Yaman, B., 2021a. The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in *Pinus brutia* Ten. *Biologia Futura*, 72, 359-365.
- Özel, H. B., Abo Aisha, A. E. S., Çetin, M., Sevik, H., Zeren Cetin, I., 2021b. The effects of increased exposure time to UV-B radiation on germination and seedling development of Anatolian black pine seeds. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(7), 388.
- Özel, H. B., Şevik, H., Kaptan, S., Varol, T., 2021c. Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) bireylerinde farklı alana geliş şekillerine göre bazı morfolojik ve fizyolojik özellikler arasındaki farklılıkların incelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(2), 636-641.
- Özpay, Z. ve Tosun, S., 1993. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) fidanlarının kalite sınıflarının belirlenmesi üzerine araştırmalar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 241, 107-137.
- Öztürk, M. A. ve Seçmen, Ö., 1992. Bitki Ekolojisi, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi. Yayınları, Yayın No: 141, İzmir, 238.
- Öztürk, N. Z., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal Of Agriculture-Food Science And Technology*, 3(5), 307-315.
- Pamay, B., 1965. Karamanbayırı örnek Devlet Orman İşletmesi Ormanlarının silvikültür problemleri. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergi Serisi*, 22, 23-49.
- Pan, Y., Wu, L. J., Yu, Z. L., 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation*, 49, 157-165.
- Parida, A. K., Dagaonkar, V. S., Phalak, M. S., Umalkar, G. V., Aurangabadkar, L. P., 2007. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Reports*, 1(1), 37-48.
- Pellegrini, E., Hoshika, Y., Dusart, N., Cotrozzi, L., Gérard, J., Nali, C., Paoletti, E., 2019. Antioxidative responses of three oak species under ozone and water stress conditions. *Science of the Total Environment*, 647, 390-399.

- Percival, G. C., Keary, I. P., Sulaiman, A. H., 2006. An assessment of the drought tolerance of *Fraxinus* genotypes for urban landscape plantings. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5(1), 17-27.
- Pichler, P. ve Oberhuber, W., 2007. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *Forest Ecology and Management*, 242 (2-3), 688-699.
- Poulos, H. M., Goodale, U. M., Berlyn, G. P., 2007. Drought response of two Mexican oak species, *Quercus laceyi* and *Quercus sideroxyla* (Fagaceae), in relation to elevational position. *American journal of botany*, 94(5), 809-818.
- Prestemon, J. P., Kruger, L., Abt, K. L., Bowker, J. M., Brandeis, C., Calkin, D. E., Donovan, G. H., Ham, C., Holmes, T. P., Kline, J., Warziniack, T., 2016. Economics and societal considerations of drought. In: Vose, J., Clark, J., Luce, C., and Patel-Weynand, T.(eds.), 253-281.
- Pšidová, E., Ditmarová, L., Jamnická, G., Kurjak, D., Majerová, J., Czajkowski, T., Bolte, A., 2015. Photosynthetic response of beech seedlings of different origin to water deficit. *Photosynthetica*, 53(2), 187-194.
- Pukacka, S., Hoffmann, S. K., Goslar, J., Pukacki, P. M., Wójkiewicz, E., 2003. Water and lipid relations in beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds and its effect on storage behaviour. *Biochemica et Biophysica Acta*, 1621(1), 48-56.
- Rabbani, M. A., Maruyama, K., Abe, H., Khan, M. A., Katsura, K., Ito, Y., Yoshiwara, K., Seki, M., Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., 2003. Monitoring expression profiles of rice genes under cold, drought, and high-salinity stresses and abscisic acid application using cDNA microarray and RNA gel-blot analyses. *Plant physiology*, 133(4), 1755-1767.
- Ramanjulu, S., Sreenivasalu, N., Giridhara Kumar, S., Sudhakar, C., 1998. Photosynthetic characteristics in mulberry during water stress and rewatering. *Photosynthetica*, 35, 259-263.
- Ravanbakhsh, M. ve Babakhani, B., 2023. *Acer velutinum* Bioss. (velvet maple) seedlings are more tolerant to water deficit than *Alnus subcordata* CA Mey.(*Caucasian alder*) seedlings. *Acta Botanica Croatica*, 82(1), 60-70.
- Reigosa Roger, M. J. ve Weiss, O., 2001. Fluorescence techniques. In Handbook of plant ecophysiology techniques. *Dordrecht, Springer Netherlands*, 155-171.

- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1017-1023.
- Rennenberg, H., Seiler, W., Matyssek, R., Gessler, A., Kreuzwieser, J., 2004. Die Buche (*Fagus sylvatica* L.)—ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*, 175(10-11), 210-224.
- Rhizopoulou, S. ve Mitrakos, K., 1990. Water relations of evergreen sclerophylls. I. Seasonal changes in the water relations of eleven species from the same environment. *Annals of Botany*, 65(2), 171-178.
- Ritchie, G. A., 1984. Assessing seedling quality. In *Forestry nursery manual: production of bareroot seedlings*, 243-259.
- Ritchie, G. A., 2006. Chlorophyll fluorescence: What is it and what do the numbers mean. National Proceedings: *Forest and Conservation Nursery Associations-2005*, 34-42.
- Rose, L., Leuschner, C., Köckemann, B., Buschmann, H., 2009. Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? *European Journal of Forest Research*, 128 (4), 335-343.
- Ryser, P., 2006. The mysterious root length. *Plant and Soil*, 286(1), 1-6.
- Saatçioğlu, F., 1976a. Fidanlık Tekniği. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Üniversite Yayın no: 2188, Fakülte Yayın no: 223, İstanbul.
- Saatçioğlu, F., 1976b. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri (Silvikültür I). İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 222, 423, İstanbul.
- Sadak, M. S., 2016. Mitigation of drought stress on fenugreek plant by foliar application of trehalose. *International Journal of Chemistry Technology Research*, 9, 147-155.
- Sadak, M. S., El-Enany, M. A. M., Bakry, B. A., Shater Abdallah, M. M., El-Bassiouny, H. M. S., 2020. Signal molecules improving growth, yield and biochemical aspects of wheat cultivars under water stress.
- Sadak, M. S. ve Ramadan, A. A. E. M., 2021. Impact of melatonin and tryptophan on water stress tolerance in white lupine (*Lupinus termis* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(3), 469-481.
- Sadak, M. S. ve Bakhoun, G. S., 2022. Selenium-induced modulations in growth, productivity and physiochemical responses to water deficiency in Quinoa

- (*Chenopodium quinoa*) grown in sandy soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 44, 102449.
- Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., Saxena, D. C., 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. *Biologia plantarum*, 41, 387-394.
- Sairam, R. K. ve Saxena, D. C., 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184(1), 55-61.
- Sairam, R. K. ve Srivastava, G. C., 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): Variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186(1), 63-70.
- Salehi-Lisar, S. Y. ve Bakhshayeshan-Agdam, H., 2016. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. Drought stress tolerance in plants, Vol 1: physiology and biochemistry, 1-16.
- Salisbury, F. C. ve Ross, C., 1994. Fisiología Vegetal y Tecnología Agraria. Grupo Editorial Iberoamericana. SA México.
- Santamarina, S., Montesinos, D., Alfaro-Saiz, E., Acedo, C., 2022. Drought affects the performance of native oak seedlings more strongly than competition with invasive crested wattle seedlings. *Plant Biology*, 24(7), 1297-1305.
- Sato, S. ve Yukawa, J., 2001. Absence record of *Fagus* Gall Midges (Diptera: Cecidomyiidae) on Ulleung Island, Korea and in North America. *Esakia*, 41, 17-25.
- Sauceda, J. U., Rodriguez, H. G., Lozano, R. R., Silva, I. C., Meza, M. V. G., Larga, L., 2008. Seasonal trends of chlorophylls a and b and carotenoids in native trees and shrubs of Northeastern Mexico. *Journal of biological sciences*, 8(2), 258-267.
- Schulze, E. D., Beck, E., Müller-Hohenstein, K., 2005. Plant ecology. Springer Science & Business Media.
- Schwanz, P. ve Polle, A., 2001. Differential stress responses of antioxidative systems to drought in pendunculate oak (*Quercus robur*) and maritime pine (*Pinus pinaster*) grown under high CO₂ concentrations. *Journal of Experimental Botany*, 52(354), 133-143.

- Selek, N., 1995. Hendek fidanlığında yetiştirilen kayın, karaçam, sarıçam ve göknar fidanlarında temel morfolojik özelliklerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon,
- Semerci, A., 2002. Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) fidanlarına ait bazı morfolojik ve fizyolojik karakteristikler ile iç anadolu'daki dikim başarısı arasındaki ilişkiler, *İç Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten* No: 279, Ankara, 142.
- Semerci, A., Çelik, O., Şanlı, B., Eczacıbaşı, B., Şahin, Ö., 2004. Drought induced damages and mortalities in (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.)), *Pinus sylvestris* L. and *Abies cilicica* (Ant. et Kotschy.) Carr. species in Semiarid Central Anatolia Region of Turkey. Impacts of the Drought and Heat in 2003 on Forests, Freiburg, Germany.
- Semerci, A., 2005a. Fifth year performance of morphologically graded *Cedrus libani* seedlings in the Central Anatolia Region of Turkey. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 29(6), 483-491.
- Semerci, H., 2005b. Farklı zonlarından örneklenen Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold subspecies *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) orijinlerinin soğuğa dayanıklılıkları, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sevik, H., Çetin, M., Öztürk, A., Özel, H. B., Pınar, B., 2019a. Changes in Pb, Cr and Cu concentrations in some bioindicators depending on traffic density on the basis of species and organs. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(6), 12843-12857.
- Sevik, H., Çetin, M., Öztürk, A., Yiğit, N., Karakuş, O., 2019b. Changes in micromorphological characters of *Platanus orientalis* L. leaves in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3), 5909-5921.
- Sevik, H., Çetin, M., Özel, H. B., Erbek, A., Zeren Çetin, I., 2021. The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species. *Environment. Development and Sustainability*, 23(4), 6395-6407.
- Sevimsoy, M., 1982. Marmara bölgesinde meşe ve kayın meşcerelerinde bakım ve gençleştirme. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Dergi Serisi* No: 55, Ankara, 31-36.

- Sgherri, C. L. M., Pinzino, C., Nvari Izzo, F., 1996. Sunflower seedlings subjected to increasing stress by water deficit: changes in O_2^- production related to the composition of thylakoid membranes. *Physiologia Plantarum*, 96(3), 446-452.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., Zhao, C. X., 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologiques*, 331(3), 215-225.
- Sharp, R. E., Silk, W. K., Hsiao, T. C., 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials: I. Spatial distribution of expansive growth. *Plant Physiology*, 87(1), 50-57.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., Li, J., 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of plant physiology*, 167(15), 1248-1252.
- Shvaleva, A. L., Silva, F. C. E., Breia, E., Jouve, J., Hausman, J. F., Almeida, M. Maroco, J. P., Rodrigues, M. L., Pereira J. S., Chaves, M. M., 2006. Metabolic Responses to Water Deficit in Two Eucalyptus globulus Clones with Contrasting Drought Sensitivity, *Tree Physiology*, 26(2), 239-248.
- Siddique, M. R. B., Hamid, A. I. M. S., Islam, M. S., 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, 35-39.
- Simova-Stoilova, L. P., López-Hidalgo, C., Sanchez-Lucas, R., Valero-Galvan, J., Romero-Rodríguez, C., Jorrin-Novó, J. V. 2018. Holm oak proteomic response to water limitation at seedling establishment stage reveals specific changes in different plant parts as well as interaction between roots and cotyledons. *Plant Science*, 276, 1-13.
- Singer, S. M., Helmy, Y. I., Karas, A. N., Abou-Hadid, A. F., 2002. Influences of different water-stress treatments on growth, development and production of snap bean (*Phaseolus vulgaris*. L.). In *VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation* 614, 605-611.
- Smart, R. E. ve Bingham, G. E., 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology*, 53(2), 258-260.
- Sofo, A., Scopa, A., Nuzzaci, M., Vitti, A., 2015. Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International journal of molecular sciences*, 16(6), 13561-13578.

- Stojnić, S., Pekeč, S., Kebert, M., Pilipović, A., Stojanović, D., Stojanović, M., Orlović, S., 2016. Drought effects on physiology and biochemistry of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) saplings grown in urban area of Novi Sad, Serbia. *South-east European forestry: SEEFOR*, 7(1), 57-63.
- Sundararajan, S., Shanmugam, R., Rajendran, V., Sivakumar, H. P., Ramalingam, S., 2022. Sodium nitroprusside and putrescine mitigate PEG-induced drought stress in seedlings of *Solanum lycopersicum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 1019-1032.
- Suner, A., 1978. Düzce, Cide ve Akkuş mıntıklarında saf Doğu kayını meşcerelerinin doğal gençleştirme sorunları üzerine araştırmalar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten Serisi* No: 107, Ankara, 60.
- Suseela, V., Tharayil, N., Orr, G., Hu, D., 2020. Chemical plasticity in the fine root construct of *Quercus* spp. varies with root order and drought. *New Phytologist*, 228(6), 1835-1851.
- Şimşek, Y., 1987. Ağaçlandırmalarda kaliteli fidan kullanma sorunları. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Dergisi*, 33(1), 7-29.
- Tariq, A., Pan, K., Olatunji, O. A., Graciano, C., Li, Z., Sun, F., Zhang, L., Wu, X., Chen, W., Song, D., Huang, D., Xue, T., Zhang, A., 2018. Phosphorous fertilization alleviates drought effects on *Alnus cremastogyne* by regulating its antioxidant and osmotic potential. *Scientific reports*, 8(1), 5644, 1-11.
- Terzi, R., Sağlam, A., Kutlu, N., Nar, H., Kadioğlu, A., 2010. Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars. *Turkish Journal of Botany*, 34(1), 1-10.
- Thimmanaik, S., Kumar, S. G., Kumari, G. J., Suryanarayana, N., Sudhakar, C., 2002. Photosynthesis and the enzymes of photosynthetic carbon reduction cycle in mulberry during water stress and recovery. *Photosynthetica*, 40, 233-236.
- Thomas, F. M. ve Gausling, T., 2000. Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) to moderate drought (leaf-root biomass ratio, osmotic adjustment, pressure-volume analysis). *Annals of Forest Science*, 57, 325-333.

- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Tosun, S., 1992. Bolu yöresi Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarında tohum verimi üzerine araştırmalar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten* No: 232, Ankara, 75.
- Tsonev, T., Wahbi, S., Sun PengSen, S. P., Sorrentino, G., Centritto, M., 2014. Gas exchange, water relations and their relationships with photochemical reflectance index in *Quercus ilex* plants during water stress and recovery.
- Turan, E. S., 2018. Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63-69.
- Turfan, N., 2016. Yerel ceviz çeşidinde (*Juglans regia* L.) abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklılık mekanizmasının belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 321-331.
- Turna, H., 1996. 18 Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) orijinine ait 1+0 yaşındaki fidanların morfolojik özelliklerinin ve kalite sınıflarının belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tüfekçioğlu, A. ve Tüfekçioğlu, M., 2018. Kuraklık ve orman ekosistem dinamikleri etkileşimi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 103-108.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., Çetiner, G., 2000. Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri. *Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları*, 17.
- Türkeş, M., 2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26-37.
- Türkeş, M., Turp, M. T., An, N., Öztürk, T., Kurnaz, M. L., 2020. Impacts of climate change on precipitation climatology and variability in Turkey. *Water resources of Turkey*, 467-491.
- URL-1.<https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/Turkiye-Orman-Varligi> (10 Ağustos 2024, 16:00).
- URL-2.<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/orman-alanlarinin-agac-turlerine-gore-dagilimi-i-85785> (11 Ağustos 2024, 15:00).

- Üçler, A. Ö., Gülcü, S., Bilir, N., 2000. Anadolu Karaçamı ve Kızılçam'da tohum kaynağı-morfolojik fidan kalitesi ilişkileri. Bildiri Özetleri Kitapçığı 39. II. Ulusal Fidancılık Sempozyumu, Eylül, İzmir.
- Ürgeç, S., 1965. Doğu ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr.) kozalak ve tohumu üzerine araştırmalar. *Orman Genel Müdürlüğü Yayınları*, Sıra No:417, Seri No:40, Dizerkonca Matbaası, İstanbul, 143.
- Ürgeç, S., 1986. Ağaçlandırma tekniği. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını*, Üniversite Yayın No: 3314, Fakülte Yayın No: 375, 525, İstanbul.
- Varol, T., Cantürk, U., Çetin, M., Özel, H. B., Sevik, H., 2021. Impacts of climate change scenarios on European ash tree (*Fraxinus excelsior* L.) in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 491, 119199.
- Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A. J. P. S., 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151(1), 59-66.
- Vose, J. M., Miniati, C. F., Luce, C. H., Asbjornsen, H., Caldwell, P. V., Campbell, J. L., Campbell, J. L., Grant, G., Isaak, D., Loheide, S., Sun, G., 2016. Ecohydrological implications of drought for forests in the United States. *Forest Ecology and Management*, 380, 335-345.
- Wallin, G., Karlsson, P. E., Selldén, G., Ottosson, S., Medin, E. L., Pleijel, H., Skärby, L., 2002. Impact of four years exposure to different levels of ozone, phosphorus and drought on chlorophyll, mineral nutrients, and stem volume of Norway spruce, *Picea abies*. *Physiologia Plantarum*, 114(2), 192-206.
- Wang, H., Siopongco, J., Wade, L. J., Yamauchi, A., 2009. Fractal analysis on root systems of rice plants in response to drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 65(2-3), 338-344.
- Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H., Mei, L., 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology open*, 7(11).
- Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., Ahmad, R., Hussain, M., 2011. Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5(1), 10-25.

- Wu, M., Zhang, W. H., Ma, C., Zhou, J. Y., 2013. Changes in morphological, physiological, and biochemical responses to different levels of drought stress in Chinese cork oak (*Quercus variabilis* Bl.) seedlings. *Russian journal of plant physiology*, 60, 681-692.
- Wutipraditkul, N., Wongwean, P., Buaboocha, T., 2015. Alleviation of salt-induced oxidative stress in rice seedlings by proline and/or glycinebetaine. *Biologia plantarum*, 59, 547-553.
- Xiong, S., Wang, Y., Chen, Y., Gao, M., Zhao, Y., Wu, L., 2022. Effects of drought stress and rehydration on physiological and biochemical properties of four oak species in China. *Plants*, 11(5), 679.
- Yahyaoglu, Z. ve Genç, M., 2007. Fidan standardizasyonu. Standart Fidan Yetiştirmenin Biyolojik ve Teknik Esasları, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın*, 75, 555.
- Yahyaoglu, Z., Güney, D., Turna, İ., Atar, F., 2012. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)’nda bazı morfolojik özelliklere bağlı varyasyonların belirlenmesi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 234-239.
- Yaltırık, F., 1993a. Dendroloji ders kitabı II. Gymnospermae (Kapalı Tohumlular). *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 387*, İstanbul, 113-114.
- Yaltırık, F., 1993b. Dendroloji II (Angiospermae). *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3767*, Orman Fakültesi Yayın No: 420, İstanbul, 109-113.
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q., & Yin, H. J., 2007a. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosynthetica*, 45, 613-619.
- Yang, J., Zhang, J., Liu, K., Wang, Z., Liu, L., 2007b. Involvement of polyamines in the drought resistance of rice. *Journal of Experimental Botany*, 58(6), 1545-1555.
- Yavaş, I. ve Unay, A., 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(4), 1012-1018.
- Yer, E.N. ve Ayan, S., 2011. Eskişehir orman fidanlık koşullarında yetiştirilen çıplak köklü Toros sediri ve Anadolu karaçam fidanlarının gelişim dönemleri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11(2), 219-227.

- Yeşilnacar, M. İ., Yazgan, M. S., Gerger, R., 1998. Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamındaki illerin su bilânçosu. II. Ulusal Hidroloji Kongresi, İstanbul, 283-294.
- Yıldız, O., 2008. Standart Yağış İndisi metodu ile kırkkale ilinde kuraklık analizi. 21. Yüzyılın Basında II. Kırkkale Sempozyumu, 1-8.
- Yılmaz, Ç., 2019. Kuraklık stresine maruz bırakılan Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) fidanlarında morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimlerin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Yılmaz, E. ve Çiçek, İ., 2016. Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973–3994.
- Yılmaz, E., Tuna, L. A., Bürün, B., 2011. Bitkilerin tuz stresi etkilerine karşı geliştirdikleri tolerans stratejileri. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 47–66.
- Yılmaz, E., 2020. Türkiye’de Thornthwaite iklim indislerindeki eğilimler. *Coğrafya Dergisi*, (40), 163-185.
- Yılmaz, M., 1995. Karaçam fidanlarının kalite sınıflarının belirlenmesi üzerine araştırmalar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, 238-241, 5-37.
- Yılmaz, M., 2005. Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) tohumlarının fizyolojisi üzerine araştırmalar, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, M. ve Dirik, H., 2008. Maturation of Oriental beechnuts (*Fagus orientalis*), *Dendrobiology*, 60, 57–62.
- Yılmaz, M. ve Özel, H. B., 2009. Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.)’nda tohum fizyolojisi ile doğal gençleştirme ilişkisi.
- Yiğit, N., Sevik, H., Çetin, M., Gül, L., 2016. Clonal variation in chemical wood characteristics in Hanönü (Kastamonu) Günlüburun black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe) seed orchard. *Journal of Sustainable Forestry*, 35(7), 515-526.
- Yiğit, N., Çetin, M., Öztürk, A., Sevik, H., Çetin, S., 2019. Variation of stomatal characteristics in broad leaved species based on habitat. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(6).

- Yin, C., Pang, X., Lei, Y., 2009. Populus from high altitude has more efficient protective mechanisms under water stress than from low-altitude habitats: a study in greenhouse for cuttings. *Physiologia plantarum*, 137(1), 22-35.
- Yu, X. Z., Lin, Y. J., Fan, W. J., Lu, M. R., 2017. The role of exogenous proline in amelioration of lipid peroxidation in rice seedlings exposed to Cr (VI). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 123, 106-112.
- Yücedağ, C., Özel, H. B., Çetin, M., Sevik, H., 2019. Variability in morphological traits of seedlings from five Euonymus japonicus cultivars. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-4.
- Yücedağ, C., Çetin, M., Özel, H. B., Aisha, A. E. S. A., Alrabiti, O. B. M., Jama, A. M. O. A., 2021. The impacts of altitude and seed pretreatments on seedling emergence of Syrian juniper (*Juniperus drupacea* (Labill.) Ant. et Kotschy). *Ecological Processes*, 10(1), 1-6.
- Yüksel, B. ve Aksoy, Ö., 2017. Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(2), 1-5.
- Zanjani, K. E., Rad, A. H. S., Naeemi, M., Taherkhani, T., 2012. Effects of zeolite and selenium application on some physiological traits and oil yield of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under drought stress. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4(4), 462-470.
- Zhu, J. K., 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313-324.
- Zhu, K., Yuan, F. H., Wang, A. Z., Wu, J. B., Guan, D. X., Jin, C. J., Flexas, J., Gong, C. J., Zhang, H. X., Zhang. Y. S., 2021. Stomatal, mesophyll and biochemical limitations to soil drought and rewatering in relation to intrinsic water-use efficiency in Manchurian ash and Mongolian oak. *Photosynthetica*, 59(1), 49-60.
- Zielewicz, W., Wróbel, B., Niedbała, G., 2020. Quantification of chlorophyll and carotene pigments content in mountain melick (*Melica nutans* L.) in relation to edaphic variables. *Forests*, 11(11), 1-16.
- Ziska, L. H., Seemann, J. R., DeJong, T. M., 1990. Salinity induced limitations on photosynthesis in *Prunus salicina*, a deciduous tree species. *Plant Physiology*, 93(3), 864-870.

Zlatev, Z. ve Lidon, F. C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 57-72.



ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Sümeyra IŞIK ÇAKMAKÇI
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi/yeri :
Medeni hali :
Yabancı dili : İngilizce
Telefon :
Faks :
e-posta :

Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet Tarihi</u>
Lisans	KTÜ- Orman Fakültesi-Orman Mühendisliği	2008-2013
Yüksek lisans	KTÜ- Orman Fakültesi- Orman Mühendisliği	2013-2016
Ön lisans	AÇÜ- HMYO- İnsan Kaynakları Yönetimi	2016-2018
Lisans	AÇÜ- Hopa İIBF- Siyaset bilimi ve Kamu yönetimi	2018-2020
Doktora	AÇÜ- Orman Fakültesi- Orman Mühendisliği	2018-2024

Yayınlar

Çakmakçı, S. I. ve Güner, S., 2024. Kuraklık stresine maruz bırakılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) orijinlerinde bazı stres parametrelerinin araştırılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1), 86-94.

Çakmakçı, S. I. ve Güner, S., 2024. Total Chlorophyll Content Variations in Some Oriental Beech (*Fagus orientalis* L.) Origins Exposed to Drought Stress. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 24(2), 209-219.