



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

**BAZI ANADOLU KARAÇAMI (*Pinus nigra* Arnold ssp.
pallasiana [Lamb.] Holmboe) ORİJİNLERİNİN DONA VE
KURAKLIĞA KARŞI DAYANIKLILIKLARININ
EKOFİZYOLOJİK OLARAK BELİRLENMESİ**

Bora İMAL

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Silvikültür Programı

Danışman

Prof. Dr. Cemal Ünal ALPTEKİN

Mart, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 16/03/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Mühendisliğı Anabilim Dalı Silvikültür programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

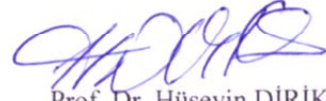
Tez Jürisi:



Prof. Dr. Cemal Ünal ALPTEKİN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Ferhat BOZKUŞ
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Hüseyin DİRİK
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Fahrettin TİLKİ
Artvin Çoruh Üniversitesi
Orman Fakültesi



Doç. Dr. Mustafa YILMAZ
Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi
Orman Fakültesi

ÖNSÖZ

”Bazı Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) Orijinlerinin Dona ve Kuraklığa Karşı Dayanıklılıklarının Ekofizyolojik Olarak Belirlenmesi” adlı bu çalışma İÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Silvikültür Programı’nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek, yardım ve katkılarından dolayı değerli danışman hocam Prof. Dr. Cemal Ünal ALPTEKİN’e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Tez izleme komitesinde yer alan ve değerli fikirleriyle katkı sağlayan hocalarım, Prof. Dr. Hüseyin DİRİK ve Prof. Dr. Fahrettin TİLKI’ye çok teşekkür ederim. Ayrıca kendilerinden destek aldığım Silvikültür Anabilim Dalının diğer öğretim üyelerine de teşekkür borçluyum.

İstatistiksel analizlerin yapılmasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Yalçın KONDUR’a çok teşekkür ederim. Yine tez çalışması boyunca destek ve görüşlerini aldığım değerli meslek büyüğüm Dr. Akkın SEMERCI’ye teşekkür ederim.

Araştırma uzun ve emek yoğun çalışmalar neticesinde şekillendi. Çalışmanın her aşamasında belirli kişi ve kuruluşların önemli katkıları oldu. Arazi çalışmalarım sırasında her türlü olanaklarını seferber eden ilgili Orman İşletme Müdürlüğü personellerine ve yine arazide kozalak toplama çalışmalarında benimle bulunup yardımlarını esirgemeyen Fevzi TALTINAR’a çok teşekkür ederim. Fidanlık ta ekimler için gerekli enso tipi kapların sağlanmasında yardımcı olan ve fidanlık çalışmaları sırasında pratik bilgileri ile katkı sağlayan Orm. Müh. Ümmiye AYDIN’a, teşekkür ederim. Fidanların Bahçeköy Orman Fidanlığında yetiştirilmeleri sırasında yardımlarını esirgemeyen Orman Mühendisi Simden ÇOLAK’a ve fidanlık çalışanlarına ayrıca teşekkür borçluyum. Çalışmanın laboratuvar aşamasında yardımlarını esirgemeyen Orman Mühendisleri Faruk Duman ve Akif Yeşilyurt ile ismini burada saymadığım İ.Ü. Orman Fakültesi öğrencilerine ayrıca teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım için ABD’de araştırma imkanı sağlayan Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığına teşekkür ederim. Yine bu kapsamda araştırma yapmak için bulunduğum University of Florida’da danışmanlığımı üstlenen Prof. Dr. Tim MARTİN’e ile aynı üniversiteden Dr. Carlos GONZALES’e çalışmaya yapmış oldukları değerli katkı ve görüşlerinden dolayı teşekkür ederim. Çalışmam süresince desteklerini gördüğüm çalışma arkadaşlarım Araş. Gör. Dr. Süleyman ÇOBAN ve Araş. Gör. Servet PEHLİVAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiştirerek bugünlere gelmemi sağlayan ve bana her zaman destek olan sevgili aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	8
2.1. BİTKİ FİZYOLOJİSİ VE EKOFİZYOLOJİ İLE İLGİLİ TANIMLAR.....	8
2.2. BİTKİ FİZYOLOJİSİNİN ORMANCILIKTAKİ ÖNEMİ	11
2.3. BİTKİ STRES FİZYOLOJİSİ	12
2.3.1. Kuraklık Stresi	15
2.3.2. Düşük Sıcaklık ve Don Stresi	20
2.4. ODUNSU BİTKİLERDE KURAKLIĞA DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİ.....	26
2.4.1. Bitki Su Potansiyeli ve Bileşenleri.....	27
2.4.2. Basınç-Hacim Eğrisi Yöntemi İle Bitki Su Potansiyeli Bileşenlerinin Belirlenmesi	33
2.4.3. Transpirasyon Analizi Yöntemi	38
2.5. ODUNSU BİTKİLERDE DONA DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİ.....	40
2.5.1. Bitki Örneklerinin Düşük Sıcaklıklara Maruz Bırakılması.....	40
2.5.2. Sıcaklığın Düşürülme Hızı, Bekleme Süresi ve Yükseltilmesi.....	43
2.5.3. Düşük Sıcaklıklar Sonrası Bitkide Meydana Gelen Zararın Belirlenmesi.....	44
2.5.3.1 İyon Sızıntısı Yöntemi	44
2.5.3.2 Klorofil Floresans Yöntemi	46
2.5.3.3 Görsel Değerlendirme Yöntemi.....	49
3. MALZEME VE YÖNTEM	51
3.1. MALZEME.....	51

3.1.1. Orijinlerin Seçimi ve Biyoiklim Zonlarının Belirlenmesi	51
3.1.2. Seçilen Orijinlerden Tohum Temini	58
3.1.3. Araştırmaya Konu Olan Fidanların Yetiştirilmesi ve Bakımı.....	61
3.1.4. Araştırmada Kullanılan Araç ve Gereçler.....	63
3.2. YÖNTEM	64
3.2.1. Kuraklığa Dayanıklılık Testlerinde Kullanılan Yöntemler.....	64
3.2.1.1. <i>Orijinleri Temsil Eden Fidanların Transpirasyon Tutumlarının Belirlenmesi</i>	64
3.2.1.2. <i>Basınç-Hacim(P-V) Eğrisi Analizi ile Orijinlerin Kuraklığa Toleranslarının Belirlenmesi</i>	70
3.2.2. Dona Dayanıklılık Testleri ve Bu Testlerde Kullanılan Yöntemler.....	74
3.2.2.1. <i>Kış Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testleri</i>	74
3.2.2.2. <i>İlkbahar Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testleri</i>	77
3.2.2.3. <i>İyon Sızıntısı Yöntemi ile Don Zararının Belirlenmesi</i>	78
3.2.2.4. <i>Klorofil Floresans Yöntemi ile Don Zararının Belirlenmesi</i>	82
3.2.2.5. <i>Görsel Değerlendirme Yöntemi ile Don Zararının Belirlenmesi</i>	84
4. BULGULAR	86
4.1. KURAKLIĞA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT BULGULAR	86
4.1.1. Orijinleri Temsil Eden Fidanların Transpirasyon Tutumları	86
4.1.2. Basınç-Hacim (P-V) Eğrisi Analizi İle Orijinlerin Kuraklığa Toleransları ...	92
4.2. DONA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT BULGULAR.....	97
4.2.1. Kış Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testlerine Ait Bulgular.....	97
4.2.1.1. <i>Kış Mevsiminde İyon Sızıntısı Yöntemine Ait Bulgular</i>	97
4.2.1.2. <i>Kış Mevsiminde Klorofil Floresans Yöntemine Ait Bulgular</i>	100
4.2.1.3. <i>Kış Mevsiminde Görsel Değerlendirme Yöntemine Ait Bulgular</i>	108
4.2.2. İlkbahar Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testlerine Ait Bulgular .	110
4.2.2.1. <i>İlkbahar Mevsiminde İyon Sızıntısı Yöntemine Ait Bulgular</i>	110
4.2.2.2. <i>İlkbahar Mevsiminde Klorofil Floresans Yöntemine Ait Bulgular</i>	112
4.2.2.3. <i>İlkbahar Mevsiminde Görsel Değerlendirme Yöntemine Ait Bulgular</i> 119	
4.2.3. Don Testlerinde Sıcaklık ile İyon Sızıntısı ve Klorofil Floresans İlişkisi ...	121
4.2.3.1. <i>Kış Mevsiminde Yapılan Testlerde Sıcaklık İle İyon Sızıntısı ve Klorofil Floresans İlişkisi</i>	121
4.2.3.2. <i>İlkbahar Mevsiminde Yapılan Testlerde Sıcaklık İle İyon Sızıntısı ve Klorofil Floresans Yöntemi İle Elde Edilen Parametrelerin İlişkisi</i>	122
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	124
5.1. KURAKLIĞA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT TARTIŞMA.....	124

5.1.1. Orijinleri Temsil Eden Fidanların Transpirasyon Tutumları Bakımından Kuraklığa Karşı Dayanıklılıkları.....	124
5.1.2. Basınç-Hacim (P-V) Eğrisi Analizleri Sonucu Orijinlerin Kuraklığa Karşı Dayanıklılıkları.....	129
5.2. DONA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT TARTIŞMA.....	135
5.2.1. Kış Mevsiminde Yapılan Don Testlerine Ait Tartışma	135
5.2.1.1. Kış Mevsimindeki İyon Sızıntısı Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları.....	135
5.2.1.2. Kış Mevsimindeki Klorofil Floresans Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları.....	138
5.2.1.3. Kış Mevsimindeki Görsel Değerlendirme Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları.....	141
5.2.2. İlkbaharda Yapılan Don Testlerine Ait Tartışma.....	142
5.2.2.1. İlkbahar Mevsimindeki İyon Sızıntısı Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları.....	142
5.2.2.2. İlkbahar Mevsimindeki Klorofil Floresans Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları	143
5.2.2.3. İlkbahar Mevsimindeki Görsel Değerlendirme Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları	143
5.3. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	143
KAYNAKLAR	149
EKLER.....	162
ÖZGEÇMİŞ.....	163

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Bitki hücresinde plazmoliz, deplazmoliz ve turgor durumunun şematik görünümü..	10
Şekil 2.2: Strese karşı oluşan cevapların bitkideki düzeni (Kocaçalışkan, 2008)	14
Şekil 2.3: Su kaybı sürecinde bir bitkinin kuraklığa dayanıklılık mekanizmalarının durumu Levitt'e atfen (Çalikoğlu, 2002).	18
Şekil 2.4: Dünya üzerindeki kurak ve yarıkurak bölgeler.	19
Şekil 2.5: Dünya üzerinde düşük sıcaklıkların dağılımı (Larcher, 2003).	21
Şekil 2.6: Hücre içi (a) ve hücreler arası buz oluşumu (b) (Larcher, 2003).	22
Şekil 2.7: Saf suda ve hücreye uygulanan basınç sonrası bitki su potansiyeli değerlerindeki değişim (Taiz ve Zeiger, 2008).	29
Şekil 2.8: Bitki su potansiyelinin toprakta, kökte ve yapraktaki günlük değişimi (Walter, 2015).	30
Şekil 2.9: Bitki su potansiyeli ve bileşenleri (Taiz ve Zeiger 2008).	31
Şekil 2.10: Bitkide su kaybına bağlı fizyolojik değişimler (Taiz ve Zeiger, 2008).	32
Şekil 2.11: Scholander basınç odası cihazının şematik görünümü (Landis ve diğ., 2010).	33
Şekil 2.12: Basınç-Hacim (P-V) eğrisi ve bu eğriden belirlenen parametrelerin şematik görünümü (Dirik,2000'den uyarlanmıştır).	35
Şekil 2.13: Apoplastik ve simplastik suyun hücre içerisindeki hareketinin şematik görünümü (Muller, 2010).	36
Şekil 2.14: Elastik modülün şematik olarak gösterimi (Robichaux ve diğ., 1986).	37
Şekil 2.15: Bir bitkinin zamana bağlı olarak transpirasyonla su kaybının aşamaları (Çalikoğlu, 2002'den uyarlanmıştır).	39
Şekil 2.16: Bir bitki örneğine ait stoma açıklığı (Taiz ve Zeiger 2008).	39
Şekil 2.17: Don testlerinde bitki dokularının kullanılması.	41
Şekil 2.18: Tüm bitkiyi dondurma testi (Landis ve diğ., 2010).	42
Şekil 2.19: İyon sızıntısı yönteminin uygulanışı	45
Şekil 2.20: Yaprğa gelen ışınların dağılımı (Landis ve diğ., 2010).	47

Şekil 2.21: Kautsky klorofil floresansı eğrisine ait bir örnek (Landis ve diğ., 2010).....	47
Şekil 2.22: Farklı model klorofil florometre cihazları ile a- doğa şartlarında b-laboratuvarda test sonrası klorofil floresans ölçümü	49
Şekil 2.23: Don zararı sonrası bitkilerde meydana gelen renk değişimi.	49
Şekil 3.1: Çalışmanın aşamalarını gösteren şema.....	51
Şekil 3.2: Araştırmaya konu olan Anadolu Karaçamı orijinlerinin haritası.	52
Şekil 3.3: Tohum toplanan bazı alanlara ait görüntüler.....	58
Şekil 3.4: Arazide kozalak toplama işleminden bir görünüm.....	60
Şekil 3.5: Kozalaktan tohum çıkarma aşaması.	60
Şekil 3.6: Fidanlıkta ekim çalışmalarından genel bir görünüm.	61
Şekil 3.7: Ekilen tohumların çimlenmesinden genel bir görünüm a-ilk çimlenmeler (15.gün), b-çimlenmeden 2 ay sonra, c- ekimden bir yıl sonra.	62
Şekil 3.8: Fidanlarda ot alma ve tekleme işleminden bir görünüm.	62
Şekil 3.9: Fidanlara yapay gölgelik oluşturulması.	63
Şekil 3.10: Kuraklık testleri için hazır hale gelen 2+0 yaşındaki Anadolu Karaçamı fidanları. .	63
Şekil 3.11: Fidanların doygun hale getirilmesi işlemi.	65
Şekil 3.12: Fidanların iklimlendirme kabininde transpirasyon ile su kaybına maruz bırakılmaları.....	66
Şekil 3.13: Transpirasyon analizi sırasında fidanlarda ağırlık tartımı.	67
Şekil 3.14: Transpirasyon analizi sırasında fidanlarda su potansiyeli ölçümleri.....	67
Şekil 3.15: Fidanların kuru ağırlıklarının belirlenmesi.....	68
Şekil 3.16: Tam doygun hale gelen fidanların basınç-hacim ölçümleri için hazırlanması.	71
Şekil 3.17: Basınç-hacim eğrisi ölçümlerinden bir kesit.	72
Şekil 3.18: Fidanların soğutucu kabinlerde bekletilmesi.....	75
Şekil 3.19: Kök sıcaklıkları korunan fidanların soğutucu kabinde düşük sıcaklıklara maruz bırakılmaları.....	76
Şekil 3.20: Fidanlara ait ibrelerden segment kesimi.....	79
Şekil 3.21: Cam tüplerdeki örneklere bidistile su ilave edilerek çalkalanması.	79
Şekil 3.22: Örnekler üzerinde ilk elektriksel iletkenlik ölçümleri.....	79
Şekil 3.23: İğne yaprak segmentlerinin otoklavlanarak tamamen öldürülmesi.....	80

Şekil 3.24: Örneklerde otoklavma işlemi sonrasında son elektriksel iletkenlik ölçümleri.....	80
Şekil 3.25: Kışın don testlerinde klorofil florometre ölçümleri.	82
Şekil 3.26: İlkbahar don testlerinde klorofil florometre ölçümleri.....	83
Şekil 3.27: Fidanların görsel değerlendirme için gözlem altında tutulması.	85
Şekil 4.1: Orijinlerin transpirasyon miktarı-zaman ilişkisine ait eğrileri içeren grafik.	86
Şekil 4.2: Nallıhan orijini 2 numaralı fidan örneğine ait basınç-hacim (P-V) eğrisi.....	94
Şekil 4.3: Kargı orijini 1 numaralı fidan örneğine ait basınç-hacim (P-V) eğrisi.	94
Şekil 4.4: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Relatif İletkenlik (RC) değerleri.....	99
Şekil 4.5: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) değerleri.....	102
Şekil 4.6: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Minimum Floresans (F_0) değerleri.....	105
Şekil 4.7: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Maksimum Floresans (F_m) değerleri.....	108
Şekil 4.8: Kışın görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanların genel görünümü.....	109
Şekil 4.9: Kışın görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanlara ait yaşama yüzdeleri.	110
Şekil 4.10: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Relatif İletkenlik (RC) değerleri...	112
Şekil 4.11: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Fotosentetik Verimlilik (F_v/F_m) değerleri.....	114
Şekil 4.12: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Minimum Floresans Verimi (F_0) değerleri.....	117
Şekil 4.13: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Maksimum Floresans Verimi (F_m) değerleri.	119
Şekil 4.14: İlkbaharda görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanların genel görünümü.	120
Şekil 4.15: İlkbaharda görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanlara ait yaşama yüzdeleri..	121

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Kaynaklarına göre bitkileri etkileyen stres çeşitleri (Kocaçalışkan, 2008).	13
Tablo 2.2: Farklı tipteki bitki yapraklarında karakteristik ozmotik potansiyel değerleri (Gonzales ve Roger, 2001).	32
Tablo 3.1: Anadolu Karaçamı orijinlerine ait bilgiler.	53
Tablo 3.2: Anadolu Karaçamı orijinlerinin Emberger Biyoiklim Sınıflandırmasına göre iklim karakteristikleri (Akman, 1999).	53
Tablo 3.3: Tohum toplanan orijinlere ait bazı sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerleri.	57
Tablo 3.4: Tohum toplanan meşcerelere ait arazi bilgi formu.	59
Tablo 3.5: Transpirasyon analizlerinde hesaplanan parametreler ve birimleri	69
Tablo 3.6: Nallıhan orijinine ait basınç-hacim eğrisi ölçüm karnesi örneği.	73
Tablo 3.7: Basınç-hacim eğrililerinden hesaplanan parametreler ve birimleri.	74
Tablo 3.8: Kış testlerinde doğadaki (Çerkeş orijini) ve soğutucu kabindeki sıcaklıkların karşılaştırılması.	77
Tablo 3.9: İlkbahar testlerinde doğadaki (Çerkeş orijini) ve soğutucu kabindeki sıcaklıkların karşılaştırılması.	78
Tablo 3.10: Orijinlere ait elektiriksel iletkenlik ölçüm tablosu.	81
Tablo 3.11: Orijinlere ait klorofil floresans ölçüm değerleri tablosu.	83
Tablo 3.12: Görsel değerlendirme yönteminde kullanılan fidan sayım çizelgesi	85
Tablo 4.1: Anadolu Karaçamı orijinlerinin transpirasyon tutumlarına ait bazı parametreler bakımından durumları.	88
Tablo 4.2: Anadolu Karaçamı orijinlerinin transpirasyon tutumlarına ait parametrelerin (Değişkenler) aralarındaki ilişkilerin önem derecesini gösteren Pearson'un korelasyon analizi sonuçları.	90
Tablo 4.3: Anadolu Karaçamı orijinlerinde basınç-hacim (P-V) eğrisi yöntemi ile belirlenen parametrelere ait ortalama değerler.	93
Tablo 4.4: Anadolu Karaçamı orijinlerinin basınç hacim (P-V) eğrilerine ilişkin çeşitli parametrelerin aralarındaki ilişkilerin önem derecelerini gösteren Pearson'un Korelasyon Analizi sonuçları.	96

Tablo 4.5: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	97
Tablo 4.6: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	98
Tablo 4.7: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	100
Tablo 4.8: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	101
Tablo 4.9: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	103
Tablo 4.10: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	104
Tablo 4.11: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	106
Tablo 4.12: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	107
Tablo 4.13: Kışın görsel değerlendirme yönteminde fidanların yaşama yüzdesi	108
Tablo 4.14: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	111
Tablo 4.15: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	111
Tablo 4.16: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	113
Tablo 4.17: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	114
Tablo 4.18: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	115
Tablo 4.19: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	116
Tablo 4.20: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.....	117

Tablo 4.21: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.....	118
Tablo 4.22: İlkbaharda görsel değerlendirme yönteminde fidanların yaşama yüzdesi	119
Tablo 4.23: Kış don testlerinde çeşitli parametrelere ait korelasyon analizi.....	122
Tablo 4.24: İlkbahar don testlerinde çeşitli parametrelere ait korelasyon analizi.....	123

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

Ψ_w	: Toplam Su potansiyeli
Ψ_p	: Turgor Potansiyeli
$\Psi\pi$: Ozmotik Potansiyel
Ψ_m	: Makrikal Potansiyel
R_{WC}	: Oransal Su İçerği
E_{Max}	: En Yüksek Elastik Modül
F_v/F_m	: Fotosentetik Verimlilik
F_0	: Minimum Floresans Verimi
F_m	: Maksimum Floresans Verimi

Kısaltmalar

Açıklama

ha	: Hektar
gr	: Gram
mg	: Miligram
FW	: Taze Ağırlık
SW	: Doygun Ağırlık
DW	: Kuru Ağırlık
EW	: Deney Sonu Ağırlık
T_I	: Stoma Kontrolüne Kadar Geçen Süre
T_{II}	: Stomalar Kapanana Kadar Geçen Süre
Ψ_{w1}	: Stoma Kontrolü Başladığı Andaki Su Potansiyeli
Ψ_{w2}	: Stomaların Kapandığı Andaki Su Potansiyeli
R_{wCI}	: Stoma Kontrolü Başladığı Andaki Oransal Su İçeriği
R_{wCII}	: Stomalar Kapandığı Andaki Oransal Su İçeriği
Sc_{tI}	: Stoma Kontrolüne Kadarki Birikimli Transpirasyon
Sc_{tII}	: Traspirasyonun İkinci Aşamasındaki Birikimli Transpirasyon
Sc_{tI+II}	: Stomalar Kapanana Kadarki Birikimli Transpirasyon
Sc_{üt}	: Kütikular Transpirasyon
P-V	: Basınç-Hacim
$\Psi\pi_{100}$: Tam Doygun Haldeki Ozmotik Potansiyel
$\Psi\pi_0$: Solma Noktasındaki Ozmotik Potansiyel
V_o/V_T	: Simplastik Su Oranı
V_o/D_w	: Birim Kuru Ağırlığa Düşen Simplastik Su Oranı
V_e/V_o	: Solma Noktasına Kadar Çıkan Simplastik Su Oranı
R_{wCzt}	: Solma Noktasındaki Oransal Su İçeriği
MDA	: Lipid peroksidasyonu
CF	: Klorofil Floresans
EL	: İyon Sızıntısı
RC	: Relatif İletkenlik
PSII	: Fotosentez 2

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BAZI ANADOLU KARAÇAMI (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) ORİJİNLERİNİN DONA VE KURAKLIĞA KARŞI DAYANIKLILIKLARININ EKOFİZYOLOJİK OLARAK BELİRLENMESİ

Bora İMAL

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cemal Ünal ALPTEKİN

Bu çalışmada, 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 Anadolu Karaçamı orijininden yetiştirilen fidanlar üzerinde laboratuvar ortamında ölçülen bazı fizyolojik parametreler ile orijinlerin dona ve kuraklığa karşı dayanıklılıkları araştırılmıştır.

Don ve kuraklık testlerinin yapılması kapsamında öncelikle 2010 yılı mart ayında orijinlerden kozalak toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Toplanan kozalaklardan elde edilen tohumlar yine aynı yılın nisan ayında Bahçeköy Orman Fidanlığında enso tipi kaplara ekilerek kullanılacak olan fidanlar yetiştirilmiştir. Elde edilen 2+0 yaşlı Anadolu Karaçamı fidanları ile kuraklığa dayanıklılık, 3+0 yaşında fidanlar ile de dona dayanıklılık testleri yapılmıştır.

Kuraklık testleri kapsamında fidanlar üzerinde Ağustos ayında yapılan transpirasyon analizleri ile su kayıplarına karşı verilen fizyolojik tepkimede, transpirasyonun birinci aşamasının en önemli aşama olduğu belirlenmiştir. Buna göre söz konusu birinci aşamada stomalarını daha erken kapatan ve daha yüksek su potansiyeline sahip (Ψ_{w1}) Çerkeş, Karaman, Kargı, Kızılcahamam ve Nallıhan orijinleri daha az su kaybetmişlerdir. Transpirasyonun ikinci aşamasında da bu durum benzer şekilde devam

etmiştir. Yine birinci ve ikinci aşama sonunda iyi tutum sergileyen orijinlerin kütikular yolla da daha az su kaybettikleri görülmüştür.

Orijinleri temsil eden fidanlarla Ağustos ayında yapılan basınç-hacim (P-V) eğrisi analizlerinde, tam doygun haldeki osmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 100}$), solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 0}$), yine bu noktadaki, oransal su içeriği (R_{WCzt}) bakımından, orijinler arasında belirgin farklar olmamakla birlikte en iyi fizyolojik tepkiyi Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinleri sergilemiştir. Yine söz konusu analizde kuraklığa karşı dayanıklılığın en belirgin göstergesi olan en yüksek elastik modül (E_{max}) bakımından orijinler arasında ise farklar belirgindir. En yüksek elastik modül Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinlerinde tespit edilmiştir.

Kış mevsiminde yapılan dona dayanıklılık testleri kapsamında fidanlar 4 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılmıştır (-20, -25, -30 ve -40 °C). İyon sızıntısı, klorofil floresans ve görsel değerlendirme yöntemi sonuçlarına göre don zararının orijinler üzerinde -20 °C ile -25 °C arasında başladığı tespit edilmiştir. Ayrıca -25 °C den sonra orijinler arasında farklılaşmalar başlayarak bazı orijinlerin -30 °C düşük sıcaklıklara kadar dayandıkları belirlenmiştir. -40 °C sıcaklık kademesinde ise tüm orijinlere ait fidanlar hayatını kaybetmiştir. Yapılan testler neticesinde dona en dayanıklı orijinler Karaman, Çerkeş ve Kargı olarak belirlenmiştir. Dirgine ise sona en duyarlı orijin olmuştur.

İlkbahar mevsiminde yapılan dona dayanıklılık testleri kapsamında ise fidanlar 3 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılmıştır (-5, -10 ve -15 °C). İyon sızıntısı, klorofil floresans ve görsel değerlendirme yöntemi sonuçlarına göre don zararının orijinler üzerinde -5 °C ile -10 °C arasında başladığı tespit edilmiştir. İlkbaharda yapılan don testlerinde orijinler arasında herhangi bir fark bulunmamıştır.

Anadolu Karaçamı orijinlerinin kuraklığa ve dona karşı dayanıklılıkları ile temsil ettikleri biyoklimatik zonlar arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Yaz kuraklığı indisi (S) ve yağış-sıcaklık katsayısı (Q) nispeten düşük olan (daha şiddetli yaz kuraklığı) orijinler (Karaman, Nallıhan ve K.Hamam) transpirasyon ve basınç-hacim (P-V) eğrisi analizleri ile kuraklığa en dayanıklı olarak belirlenmiştir. Yine soğuk zonları temsil eden alanlarda, mutlak minima ve en soğuk ayın minimum sıcaklık ortalama değerleri (m) düşük olan orijinler (Karaman ve Çerkeş) uygulanan don testleri sonucunda dona en dayanıklı orijinler olarak tespit edilmiştir.

Mart, 2015, 179 Sayfa

Anahtar kelimeler: Anadolu Karaçamı, Ekofizyoloji, Kuraklığa dayanıklılık, Dona dayanıklılık, Transpirasyon, Basınç-Hacim eğrisi, Elastik modül, Klorofil floresans, İyon sızıntısı, Görsel değerlendirme

SUMMARY

Ph. D. THESIS

ECOPHYSIOLOGICAL DETERMINATION OF COLD AND DROUGHT TOLERANCES OF SOME ANATOLIAN BLACK PINE (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) ORIGINS

Bora İMAL

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Forest Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Cemal Ünal ALPTEKİN

In this study, cold and drought hardiness were investigated in the laboratory using some measured physiological parameters on seedlings representing 6 different bioclimatic regions from 7 Anatolian Black Pine provenances.

Firstly, cones were collected in March of 2010 from provenances. Seedlings were propagated in the containers in April in Bahçeköy Forest Nursery. Drought tolerance was tested on 2+0 years old seedlings and cold tolerances were tested on 3+0 year old seedlings.

It was found that the first stage of transpiration process was important in physiological arranging of seedlings in transpiration analysis in August. Accordingly, Çerkeş, Karaman, Kargı, Kızılcahamam and Nallihan provenances which close their stoma earlier and has higher water potential, lose less water in the first stage. In the second stage of the transpiration, similar situations were continued. In the first 2 stages, provenances lost less water with cuticular transpiration rate.

According to the results of pressure-volume curve (P-V) analysis, very less variations were observed among origins according to full turgor osmotic potentials, zero turgor osmotic potentials, relative water content at zero turgor point in August. With these values, Karaman, Nallihan and Kızılcahamam provenances were performed best physiological response. Also, differences became more evident in maximum elastic

modules of the provenances. The highest elastic modül were determined in Karaman, Nallıhan and Kızılcahamam.

In cold hardiness test, the seedlings were exposed to four different freezing temperature in winter (-20, -25, -30 and -40⁰C). Cold damages on seedlings started from -20⁰C and -25⁰C according to chlorophyll fluorescence, electrolyte leakage and visible observation methods. In addition, it was found that some provenances survived untill -30⁰C. All provenances were died at -40⁰C. As as result, it was concluded that most resistant provenaces were Karaman, Çerkeş and Kargı. The most sensitive provenance was Dirgine.

Cold hardiness test which were done in April the seedlings were exposed to three different freezing temperature (-5, -10 and -15⁰C). Cold damages on seedlings were started from -5⁰C and -10⁰C according to chlorophyll fluorescence, electrolyte leakage and visible observation methods. In addition there weren't any significant difference among provenances.

Significant relations were found between drought and cold tolerances of Anatolian Black Pine provenances and their bioclimatical regions. Provenances (Karaman, Nallıhan ve K.Hamam) which have relatively lower summer drought indice (S) and precipitation-temperature coefficient (Q) were determined as the most tolerant to drought with P-V curve and transpiration analysis. Provenances (Karman ve Çerkeş) which have lower absolute minimum and minimum average temperature values of the coldest month (m) were determined as the most tolerant to cold.

March, 2015, 179 Pages

Keywords: Anatolian Black Pine, Ecophysiology, Drought hardiness, Cold hardiness, Transpiration, Pressure-volume curves, Elastic modulus, Chlorophyll fluorescence, Electrolyte leakage, Visual evaluation

1. GİRİŞ

Günümüzde doğa ve çevre konusunda varılan evrensel boyutlar irdelendiğinde, orman kaynakları ve ormancılığın, doğal çevre kavramıyla özdeş ölçülerde değerlendirildiği ve onun en önemli halkasını oluşturduğu görülmektedir (Bozkuş ve Tanrıverdi, 1992). Ormanların bu önemli konumu, sosyal çevrenin doğal çevre üzerinde egemen olma alışkanlığı ile sınırsız ve özensiz kullanma baskıları sonucu, bu varlığın en çok zarar gören doğal kaynakların başında gelmesine yol açmıştır.

Bir ülkedeki ormanlar kendilerinden beklenen çeşitli yararları gerçekleştirebilecek nitelik ve nicelikte olmadığı takdirde orman varlığının artırılması ve mevcut ormanların iyileştirilmesi zorunluluğu vardır. Bu zorunluluk karşısında yeteri kadar ormana sahip bulunmayan veya mevcut ormanları çeşitli nedenlerle tahrip edilmiş ve verimsiz hale gelmiş olan birçok ülke, orman alanlarını genişletmek ve iyileştirmek amacı ile çok eski yıllardan beri ağaçlandırma ve erozyon kontrolü çalışmalarına girişmişlerdir (Ürgenç ve Çepel, 2001).

Milattan önce 2000 yıllarında 8 milyar hektar olduğu tahmin edilen dünya ormanları, günümüze kadar geçen süreç içerisinde, tarım alanlarının orman aleyhine gelişmesi ve artan nüfusa paralel olarak tahrip olmuş ve 3,9 milyar hektara gerilemiştir. Yine ülkemizde de, vaktiyle 50 milyon hektar olduğu bilinen orman alanları, başta yangın, hayvan otlatması, tarla açma, usulsüz kesimler ve yerleşmeler sonucunda büyük ölçüde zarar görmüş, alanları daralmış, nitelikleri bozulmuş ve verimsizleşerek 21.6 milyon hektara kadar gerilemiştir (Ürgenç, 1998; Boydak ve Çalışkan, 2014).

Türkiye ormanlarının ortalama artımı $1.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ dır. Bu değerler Yunanistan'da $2,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$, Romanya'da $2.5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$, Finlandiya'da $2.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$, Fransa'da $3.1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$, Almanya'da $3.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$ düzeyinde olup ülkemiz ormanlarının ortalama verim gücünden daha fazladır (Boydak ve Çalışkan, 2014). Bu durum verim gücünü yitirmiş ve yitirmekte olan alanların vakit geçirmeden ağaçlandırılmasını zorunlu kılmaktadır.

Türkiye'nin konumu itibariyle farklı edafik faktörler ve iklimsel çeşitlilik ile değişik orman ekosistemlerine sahip olması; ağaçlandırmalarda uygulanacak teknikleri ve kültürel tedbirleri çeşitli kılmaktadır. Nemli iklim bölgelerinde ideal ekolojik koşullara sahip alanlarda ağaçlandırma çalışmaları daha kolay yapılabilmeyleken, kuraklık ve don etkisinin olduğu alanlarda şartlar zorlaşmaktadır (Ürgeç, 1998).

Genel olarak kuraklık; yağışların normalin ya da ortalamanın altında gerçekleşmesi veya buharlaşma ile kaybedilen suyun, yağışlarla sağlanan sudan fazla olması olarak tanımlanmaktadır (FAO, 1963; Uluocak, 1974; Erinç, 1984; Türkeş, 1990; Özyuvacı, 1999; Ürgeç, 1998). Kuraklık afetlerinin şiddeti, oluşum süreleri, toplam ekonomik kayıp, sosyal etki ve kalıcılığı esas alınarak yapılan değerlendirmede; kuraklık, önem sırasına göre dünyada etkili olan 31 çeşit doğal afet içinde birinci sırada yer almaktadır (Bryant, 1993). Ayrıca fosil yakıtların kullanılması, ormanların yok edilmesi, endüstriyel etkinlikler gibi insan aktiviteleri, sera gazlarının atmosferde artmasına yol açmakta ve bu gazların yarattığı sera etkisi sonucunda ise dünyada sıcaklık artışı yaşanmaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Günümüzde küresel ısınmanın sebep olduğu kuraklık ve çölleşme tüm insanlığı tehdit eden önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler kaynaklarına göre çölleşme ve kuraklık yerküredeki 4 milyar hektardan fazla alanı ve 110 ülkede yaşayan 1.2 milyar insanın yaşamını doğrudan tehdit etmektedir (Ürgeç 1998; Öner ve diğ., 2007; Özel ve diğ., 2010). Kuraklık etkisi ormancılık çalışmaları içinde zor ve karmaşık çalışmaları gerektirmekte, özellikle silvikültür çalışmalarında belirleyici rol oynamaktadır (Dirik, 1994).

Türkiye koşullarında da ormancılık çalışmaları açısından kuraklık etkisi önemli bir olgudur. Türkiye'de yıllık yağışı 300 ile 600 mm arasında değişen yarıkurak alanlar 31 milyon hektarlık bir alana karşılık gelmekte, bu da ülke alanının %37'sini oluşturmaktadır (Zoralioğlu, 1990; Ürgeç, 1998, Çalıkoğlu ve Tilki, 2004). Erinç kuraklık indisi değerlerine göre ise ülkemizin yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ü yılın 5-8 ayını yarıkurak iklim koşulları altında geçirmekte olup, düşen yıllık yağışın pek azı vejetasyon dönemine rastlamaktadır (Erinç, 1984; Türkeş, 1990).

Yüksek sıcaklıklar ve kuraklık ormancılık çalışmalarını olumsuz etkilediği gibi düşük sıcaklıklar da aynı şekilde olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü düşük sıcaklıklarda bitkideki biyokimyasal olaylar için gerekli enerji miktarı artmakta, fotosentez miktarı azalmakta, karbonhidrat taşınımı yavaşlamakta, solunum hızı düşmektedir. Bitkilerin yayılış gösterdikleri yükseltelerin üst sınırları genellikle düşük sıcaklıklar tarafından belirlenmektedir (Tinüs, 1996; Larcher, 2003).

Dünya yüzölçümünün %42'sinde yıllık ortalama minimum hava sıcaklığı -20°C 'ın altına düşebilmektedir (Linden, 2002; Larcher, 2003). Bitkilerin düşük sıcaklıktan etkilenme dereceleri; bitkinin yaşına, düşük sıcaklığa maruz kalma süresine ve bitkinin türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Larcher, 2003; Özen ve Onay, 2007).

Düşük sıcaklık genelde soğuk ve don zararı olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Fakat genelde her ikisi beraber don zararı olarak adlandırılır. Sıcak iklimlerde yaşayan bitkiler genelde 0°C ile $15-20^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklardan zarar görmektedir. Sıcaklığın 0°C altına düşmesi sonucu oluşan don zararı ise çevre sıcaklığının düşük olmasından çok, hücre suyunun donmasından kaynaklanan zarar ile meydana gelmektedir (Tinüs, 1996; Kacar ve diğ., 2002; Semerci, 2005; Çolak, 2012).

Bilindiği gibi; bitkiler her zaman uygun çevre şartları altında bulunmazlar, büyüme ve gelişmeleri sırasında abiyotik (yüksek ve düşük sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, radyasyon vb.) ve biyotik (böcek, mantar gibi zararlı ve hastalıklar vb.) çevresel streslerle karşılaşmaktadırlar. Yine son yıllarda toprak ve hava kirleticileri de olumsuz çevresel etkenler olarak bitkilerin büyüme ve gelişmelerini etkilemektedir (Özen ve Onay 2007; Kocaçalışkan, 2008).

Stres genellikle bitkiler üzerinde olumsuz bir etki oluşturan dışsal bir etmen veya bitkilerin gelişim ve verimliliklerini negatif yönde etkileyen çevre faktörlerinin toplam bileşeni olarak tanımlanmaktadır (Kramer, 1983; Hale ve Orcutt, 1987; Hopkins 1995; Kozłowski ve Pallardy, 1996; Larcher, 2003; Özen ve Onay, 2007; Lambers ve diğ., 2008). Söz konusu stres koşullarının ortaya çıkmasıyla, bitkiler hayatta kalabilmek için kendi limitlerini zorlar veya ortama uyum için çeşitli yöntemler geliştirirler. Bu yöntemlerden bazıları o kadar ilginçtir ki adeta bitkilerin gördüğü, duyduğu ve hissettiği kanısı uyanır (Özen ve Onay, 2007). Örneğin stres koşulları altında bitkiler

fizyolojilerini ve metabolizmalarını buldukları stres ortamına göre ayarlamaya çalışırlar veya yayılış alanlarını sınırlarlar (Hopkins, 1995).

Yukarıda değinildiği gibi bitkilerin yaşam süreçlerinde karşılaştıkları en önemli stres faktörlerinden olan don, kuraklık ve tuzluluk onları çok yönlü etkilemektedir. Don stresi özellikle ılıman bölgelerde ve kuzey enlemleri üzerindeki soğuk kuşakta bitkilerin sıkça karşılaştıkları bir olaydır. Yapılan araştırmalarda dünya karalarının yaklaşık %28'lik kısmında kuraklık, %24'ünde sıg topraklar, %23'ünde bitki besin maddesi eksikliği veya fazlalığı ve %16'lık kısmında ise don stresinin, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Semerci ve diğ., 2008; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005).

Bitkilerin stres koşullarına cevap verme yetenekleri onların coğrafik dağılımları üzerinde de etkilidir. Özellikle olumsuz toprak ve iklim koşulları sonucu oluşan stres faktörlerine karşı iyi bir savunma geliştiren bitkiler hayatta kalırken, geliştiremeyenler büyük oranda zarar görmekte ya da ölmektedir. Bu nedenle stresin oluşturduğu zararın ve bitkilerin bu streslere verdikleri tepkilerin fizyolojik olarak belirlenmesi tarım ve ormancılık çalışmalarında bitkilerin ıslahı için önem taşımaktadır (Kramer, 1986; Dirik, 1994; Kozlowski ve Pallardy, 1996; Özen ve Onay, 2007).

Bitkilerin çeşitli stres faktörlerine karşı toleranslarının belirlenmesi çalışmalarında önceleri kolaylığı nedeni ile bitkilerin morfolojik özellikleri üzerinde durulmuştur. Teknolojik gelişmelere paralel olarak ise günümüzde kök yenileme potansiyeli, bitki su bileşenleri, yaprakların klorofil içeriği, fotosentetik aktivitenin belirlenmesi gibi birçok araştırma çeşitli cihazlar yardımı ile yapılmaktadır (Kramer, 1983; Kozlowski ve Pallardy, 1996; Yahyaoğlu ve Genç, 2007; Deligöz, 2007; Kilis, 2007; Lambers ve diğ., 2008; Gonzales, 2009; Deligöz, 2011; Martin, 2012).

Ekofizyolojik araştırmalar, bitkilerin fizyolojik tepkimeleri ile farklı çevresel koşulların etkisi altındaki değişimlerini incelemektedir. Söz konusu araştırmalarla laboratuvar ortamında daha kısa zamanda uygulamaya yönelik önemli fizyolojik bulgular elde edilebilmektedir (Kramer, 1986; Buchmann, 2002; Larcher, 2003; Lambers ve diğ., 2008). Orman ağacı türlerinin kuraklığa ve dona dayanıklılık yönündeki mevcut uyumsal çeşitliliklerinin türler, popülasyonlar ve bireyler arası düzeylerde belirlenmesi

bitki ekofizyolojisi çalışmaları kapsamına girmektedir (Dirik, 1994; Dirik, 2000; Linden 2002; Çalikoğlu, 2002; Çalikoğlu ve Tilki, 2004; Semerci, 2005).

Kuraklık ve don etkisinin ayrı ayrı ya da birlikte görüldüğü bölgelerde yayılış gösteren türler üzerinde doğal, yapay gençleştirme ve bakım gibi silvikültürel çalışmalarda türlerin kuraklık ve dona karşı tutumlarının iyi bilinmesi, başarı açısından büyük önem arz etmektedir (Daniel ve diğ., 1979; Larsen ve Suner, 1986; Dirik, 1999; Çalikoğlu ve Tilki, 2004; Semerci, 2005; Savil ve diğ., 2005). Yine bu gibi alanlarda yapılan ağaçlandırma çalışmaları farklı yöntemler ile, teknik bilgi ve deneyim de gerektirmektedir (Dwivedi ve Gupta, 1993; Ürgenç, 1998; Çolak ve Pitterle, 1999; Boydak ve diğ., 2010).

Ağaçlandırma çalışmalarında kullanılan fidanların morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi, meydana gelebilecek stres faktörlerini ve şiddetini azaltmaz; ancak böylesi bir belirleme sayesinde çevresel streslerin şiddetli olduğu alanlarda tutma şansları yüksek olan fidan tipleri belirlenebilir. Belirlenmiş olan bu fidanların kullanılmasıyla da ağaçlandırmanın başarısı yükseltilebilir (Semerci, 2002).

Bir ağaç türüne ait orijinlerin, kuraklık ve dona dayanıklılık bakımından kıyaslanması, gelecekteki tohum transferi ve ıslah çalışmaları için de büyük önem taşımaktadır. Çünkü herhangi bir lokal orijinin bugünkü dış koşullara adaptasyon durumu geçmişte seleksiyon etkilerinin bir sonucu olup geriye dönük karakterlerdir. İlerleyen dönemlerde bitkilerin stres faktörlerine daha çok maruz kalacağı düşünülmektedir. Bu nedenle aynı biyoklimatik rejyonlardaki popülasyonların dahi kuraklık ve don stresine dayanıklılıklarının kıyaslanması önem kazanmaktadır (Çalikoğlu, 2002; Işık ve diğ., 2002).

Çalışmaya konu olan Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) Ülkemizde Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri dışında tüm bölgelerimizde yayılış göstermektedir (Alptekin, 1986). Meşe türlerinden sonra ülkemizde stebe en fazla sokulan türdür (Uslu, 1959; Saatçioğlu, 1976). Biyoklimatik bakımdan yarı nemli, yarıkurak ve soğuk iklim koşullarında yer alır. Dolayısı ile Türkiye ormancılığında ve özellikle ağaçlandırma çalışmalarında hem taşıdığı ekonomik değer hem de ekolojik amplitünün genişliğine bağlı olarak yaygın bir kullanım alanına sahip

olması nedenleriyle önemli bir çam türümüzdür (Dirik, 1999). Nitekim Kızılçamdan sonra ülkemizde en geniş yayılış alanına sahip olan Anadolu Karaçamı (5.4 milyon ha), ağaçlandırma çalışmalarında alan büyüklüğü bakımından ikinci sırada yer almaktadır (2009 yılı sonuna kadar 488.379 ha) (Anon, 2006; Atalay ve Efe, 2010; Ertekin ve Özel, 2010). Özellikle son yıllarda Karaçam ağaçlandırmaları hem doğal yayılış alanı içinde hem de doğal yayılış alanı dışında, soğuk ve kuraklık etkisinin de aralarında bulunduğu alanlarda kapsamlı bir şekilde yürütülmektedir (Dirik, 1999; Konukçu, 2001; Atalay ve Efe, 2010).

Her ne kadar Anadolu Karaçamı'nın dona ve kuraklığa karşı dayanıklı bir tür olduğu ifade edilse de (Saatçioğlu, 1976), çeşitli araştırmalara ait bulgular Karaçamın yayılış gösterdiği alanlarda don ve özellikle de kuraklık stresinden etkilenebildiğini de göstermektedir. Özellikle İç Anadolu bölgesindeki tesis ve yetiştirme çalışmalarında kuraklık stresinin büyümeyi ve gelişmeyi olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir. Nitekim Ürgenç (1986) Ankara civarında tesis edilmiş Karaçam plantasyonlarında, kuraklık etkisinden dolayı belirli bir yaştan sonra, dikkate değer tepe kurumalarının oluştuğunu belirtmektedir (Çalıköglü, 2002, Kilis, 2007). Akkemik (2001) ise palionik ve dendrokronolojik saptamalarda, Anadolu Karaçamının uzun süreli kurak devrelerde olumsuz etkilere maruz kaldığını belirtmiştir. Yine Karaçamda yapılmış orijin denemelerinin 9. ve 25. yıl sonuçları; İç Anadolu Bölgesi deneme alanlarındaki boylanma ve yaşama yüzdelerinin diğer bölgelere oranla çok düşük olduğunu ortaya koymuştur (Şimşek ve diğ., 1995; Gökdemir ve diğ., 2012).

Türkiye silvikültüründe önemli bir yer teşkil eden Anadolu Karaçamında yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında, orijin seçimi çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Özellikle şiddetli don ve kuraklık etkisindeki alanlar için uygun orijinlerin bulunması ve kullanılması şarttır. Nitekim (Alptekin, 1986) öncelikle bu bölgelere intibak edebilecek varyasyonların belirlenmesi ve ardından buna bağlı orijin denemelerinin yapılması gerektiğini, Dirik (1999) ise türün ağaçlandırmalarda başarısını yükseltebilmek için ekofizyolojik temele dayalı kapsamlı araştırmaların yürütülmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Anadolu Karaçamı; ekolojisi, silvikültürü, tohumu, ıslahı ve yetiştirilmesi gibi konularda birçok temel araştırmaya konu edilmiştir (Atay, 1959; Alptekin, 1986;

Boydak, 1982; olak, 1991; Velioğlu ve diğ., 1999; Güner, 1999; Atalay ve Efe, 2010; Temel ve diğ., 2001; Gökdemir ve diğ., 2012; alışkan ve diğ., 2014). Yine Karaçam'ın fizyolojisi ve ekofizyolojisi hakkında da bazı çalışmalar yapılmıştır (Larsen ve Suner, 1986; Dirik, 1994; Dirik, 1999; alıkoğlu, 2002; Semerci, 2005; Semerci ve diğ., 2008; Deligöz, 2009; Deligöz, 2011, Genç ve diğ., 2012). Ancak bugün için ortaya konan Karaçamın gerek silvikültürü gerekse fizyolojisi ve ekofizyolojisi geliştirilmeye muhtaçtır. Özellikle günümüzde küresel ısınmanın da etkilerini göz önünde bulundurduğumuzda bu tür hakkında ekofizyolojik temele dayalı yeni araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Bu alışma, Emberger Biyoiklim sınıflanması yöntemi ile belirlenen ve 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 Anadolu Karaçamı orijini üzerinde yrtlmştir. Söz konusu orijinlerden toplanan tohumlardan yetiştirilen tüplü 2+0 yaşlı fidanlarda kuraklık, 3+0 yaşlı fidanlarda don testleri laboratuvar ortamında yapılarak çalışmanın hedefleri doğrultusunda gerekli fizyolojik parametreler elde edilmiştir.

Bu araştırmada hedeflenen başlıca amaçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Don ve kuraklık stresinin Anadolu Karaçamı fidanları üzerindeki etkisinin ortaya konması,
- Dona ve kuraklığa birlikte dayanıklı orijinlerin tespit edilerek sınıflandırılması,
- Kuraklık ve don etkileri bakımından tür içi varyasyon düzeyinin saptanması,
- Trn kuraklık ve don stresi koşullarına gösterdiği tutum bakımından genel bir durum tespitini yaparak diğer önemli ağaç türleri ile karşılaştırılması,
- Orijinlerin kuraklık ve don stresi karşısındaki tutumları ile temsil ettikleri biyoklimatik rejyonların iklim özellikleri arasında olabilecek ilişkilerin ortaya konması,
- Özellikle İç Anadolu Bölgesinde Antropojen step alan ağaçlandırmalarında orijin seçimine ve uygulama çalışmalarına katkı yapılması,
- Lokal tohum kaynakları olmaması durumunda yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında kullanılabilir orijinlerin belirlenmesine yardımcı olunması,
- Anadolu Karaçamının ekofizyolojisi hakkında zgn bilgilere ulaşılması ve mevcut bilgilere bilimsel katkılar yapılması amaçlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. BİTKİ FİZYOLOJİSİ VE EKOFİZYOLOJİ İLE İLGİLİ TANIMLAR

Bitki Fizyolojisi; Bitkinin yaşamı boyunca meydana gelen canlılık olaylarını fizik ve kimya kurallarına göre açıklamaya çalışan bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır (Özen ve Onay, 2007; Taiz ve Zeiger, 2008). Fizyolojik açıdan bakıldığında bitkiler, fiziksel çevrelerinden aldıkları basit bileşikleri enerji kullanarak büyük kompleks moleküller haline çeviren biyokimyasal makineler olarak da kabul edilebilirler.

Bitkiler de diğer canlılar gibi doğar, beslenir, çoğalır ve ölür. Örneğin; çimlenme bir doğum olayı, fotosentez ise bir beslenme şekli olduğu gibi çiçek ve tohum oluşumu da bir üreme olayıdır. Bitkilerin hayatları boyunca meydana gelen çeşitli fizyolojik olayların sebeplerini ve mekanizmalarını deneylere dayalı olarak anlamaya çalışmak ise bitki fizyolojisinin konusunu teşkil eder (Kocaçalışkan, 2008).

Genel olarak bitki hücreleri, su ve bitki hücreleri, bitkilerde su dengesi, mineral beslenme, çözülmüş madde taşınımı, fotosentez, bitki solumu, mineral besinlerin özümlemesi, hücre çeperi, büyüme ve gelişme, bitki büyüme düzenleyicileri, çiçeklenmenin denetlenmesi ve stres fizyolojisi gibi konular bitki fizyolojisinin temel çalışma alanlarıdır (Taiz ve Zeiger, 2008).

1930'lu yıllarda bitki hormonlarının keşfedilmesi, bitki fizyolojisi çalışmalarını hızlandırmış ve birçok fizyolojik olayın izahına katkıda bulunmuştur. Bitkilerdeki fizyolojik olayların daha iyi anlaşılması, bitkilerden daha çok istifade etmenin yollarını açtığı için ekonomik bir öneme de sahiptir. Örneğin bitkilerden azami verim alınması bir ölçüde fotosentez olayının anlaşılmasına ve bitki hormonlarının etki mekanizmalarının iyi bilinmesine bağlıdır. Yine tuzluluk, kuraklık, don gibi olumsuz çevre koşullarına uyumlu bitkilerin bulunup üretilmesi, bitkilerdeki uyum ve dayanıklılık mekanizmalarını bilmeye bağlıdır (Özen ve Onay, 2007; Kocaçalışkan, 2008).

Bitki fizyolojisinin en önemli araştırma alanlarından biri de suyun topraktan bitkiye ve bitkiden atmosfere hareketidir. Maddelerin bir yerden diğer bir yere hareketleri taşınma olarak adlandırılmaktadır (Taiz and Zeiger, 2008). Bu yer değiştirmeler sırasında metabolik enerji kullanılmışsa aktif taşınmadan, kullanılmamışsa pasif taşınmadan söz edilir. Bazı durumlarda solut moleküllerin (iyon, şeker vs) aktif taşınması su alımını sağlasa da suyun bitkiye alınması pasif taşınma (osmoz) yoluyla olmaktadır (Özen ve Onay, 2007; Kocaçalışkan, 2008).

Çalışma kapsamında araştırmanın daha anlaşılır olması için ele alınan bazı terimler aşağıda tanımlanmıştır.

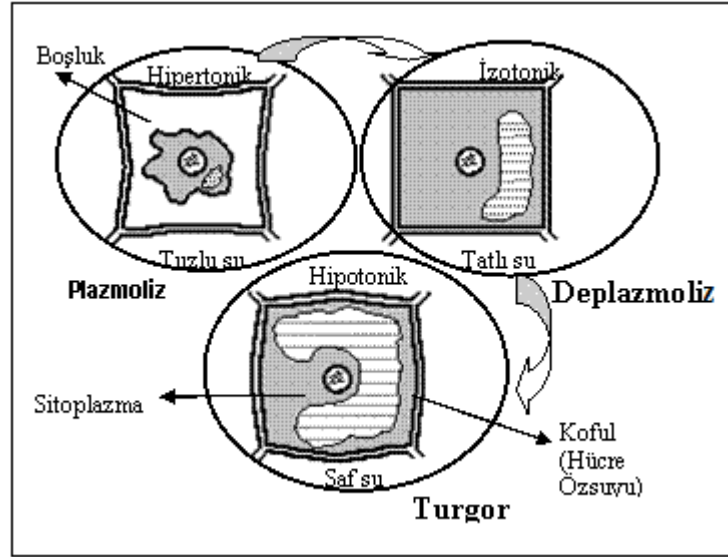
Difüzyon; maddelerin kinetik ve termal aktiviteleri ile rastgele hareketleri sonucu, çok yoğun bir ortamdan daha az yoğun oldukları bir ortama direk olarak geçişleridir. Bu olay su, gaz ve solutların bitkiye alınmasında ve taşınmasında önemli bir görev yapmaktadır (Özen ve Onay, 2007).

Osmoz (suyun difüzyonu); Yarı geçirgen bir zardan suyun difüzyon etmesi olayına denir. Osmoz olayları sırasında bizzat iş gören kuvvet **osmotik basınç** adını alır. Başka bir ifade ile hücrenin dışından içine doğru etki eden basınçtır. Osmotik basınç büyüdükçe hücrenin su alması kolaylaşır.

Turgor basıncı; Osmozla hücreye giren su, hücrelerin şişmesine sebep olur buna *turgor*, bu sırada su moleküllerinin hücre çeperine yaptığı basınca ise *turgor basıncı* denir. Osmotik basınca zıt yönde olan basınç turgor basıncıdır ve bitkiye suyun girişine engel olacak şekilde görev yapmaktadır. Bu nedenle, dışardan suyun alınması osmotik basınç ile turgor basıncının eşit olmasına kadar sürer. Osmotik basıncın turgor basıncına baskın olduğu sürece, suyun alınmasını sağlayan kuvvete ise *emme kuvveti* denir (Özen ve Onay, 2007; Kocaçalışkan, 2008).

Plazmoliz; Hücre kendisinden yoğun (hipertonik) bir ortama konduğunda, yoğun ortama su vererek zarın her iki tarafındaki yoğunluğu dengelemek ister. Dolayısıyla su kaybederek büzülür. Hücrenin daha yoğun bir ortama konduğunda büzülmesine *plazmoliz* denir. Plazmoliz haldeki bir hücrenin osmotik basıncı çok yüksektir (Özen ve Onay, 2007).

Deplazmoliz; Hücre kendisinden daha az yoğun (hipotonik) bir ortama konulursa ortamdaki hücreye su girişi olur. Dolayısıyla su alarak şişer. Hücrenin ortamdaki su alarak şişmesi olayına *deplazmoliz* denir.



Şekil 2.1: Bitki hücresinde plazmoliz, deplazmoliz ve turgor durumunun şematik görünümü.

Bitki ekofizyolojisi; ekolojik gözlemlerin altında yatan fizyolojik mekanizmaları araştırıp tanımlamaya çalışan deneysel bir bilimdir. Bu bilim dalı ile uğraşan bilim adamları bitkilerin coğrafi dağılışı, büyümesi, üremesi, hayatta kalması ve yayılışı üzerinde etkili olan ekolojik koşulları irdeler. Çünkü bu süreçler bitkinin biyotik, kimyasal ve fiziksel çevresi ile olan ilişkileri çerçevesinde şekillenmektedir (Lambert ve diğ., 2008).

Başka bir ifade ile bitki ekofizyolojisi; bitkilerin fizyolojik tepkimelerinin farklı çevresel koşulların etkisi altındaki değişimlerini inceleyen bilim dalı olarak da tanımlanmaktadır (Çalıköğlü, 2002; Larcher, 2003).

Yine bitki ekofizyolojisi ekolojik sorular ile hayatta kalma, dağılım, verimlilik ve diğer organizmalar ile bitki etkileşimleri ile ilgili nedensel, mekanistik açıklamalar sağlamayı amaçlamaktadır. Neden belirli bir tür belirli bir bölgede yaşar? Orada nasıl başarılı bir şekilde hayatını devam ettirir, neden diğer bazı ortamlarda yok olur? Bu sorular başlangıçta bitkilerin küresel dağılımını inceleyen coğrafyacılar tarafından sorulmuştur

(Walter, 1974; Lambers ve diğ., 2008). Bugün için ise bitkilerin farklı iklimik şartlara nasıl uyum sağladığı ekofizyoloji çalışmaları ile belirlenmektedir.

Söz konusu bilim dalı gerek zamansal, gerekse mekansal nitelikleri ile bitki yetiştirme uygulamalarına önemli katkılarda bulunabilmektedir. Laboratuvar koşullarında, bitkilerin fizyolojik aktivitelerini etkileyen birçok dış etmen belirlenebilmekte ve önemli olduğu düşünülen bir veya birkaç faktörün bitkiler üzerindeki etkileri hakkında rasyonel değerlendirmeler yapılabilmektedir. Çalışmalarda laboratuvar koşulları ile bitkinin bulunduğu dış ortam arasındaki farklılıklar dezavantaj gibi görünse de bu durum ekolojik ve diğer dış mekana dayalı uygulama çalışmaları ile paralel değerlendirilerek aşılabılır (Çalikoğlu, 2002).

2.2. BİTKİ FİZYOLOJİSİNİN ORMANCILIKTA Kİ ÖNEMİ

Orman ağaçlarının fizyolojisi hakkında birçok çalışma olmasına rağmen fizyoloji ve ekofizyoloji çalışmaları beklenilenden küçük bir katkı yapmaktadır. Bu durum özellikle laboratuvar ve arazi çalışmaları arasındaki iletişim eksikliği ve fizyolojinin ormancılıktaki rolünün tam olarak anlaşılmasından kaynaklanmaktadır. Ağacın fizyolojik aşamaları genetik potansiyel ve çevre, büyümenin nitelik ve niceliğini etkiler. Odun üretimi genellikle fizyolojik ve genetik potansiyelin aşağısında kalır çünkü önemli fizyolojik aşamalar çoğu kez kuraklık, mineral eksikliği, olumsuz sıcaklıklar ve hava kirliliği gibi çevresel stres faktörlerince engellenir (Kramer, 1986).

Özellikle tarım ve ormancılık çalışmalarında sanayileşmiş ülkelerde üretim, kuraklık, verimsiz topraklar ve diğer çevresel stresler yüzünden potansiyelinin %25'i ile sınırlıdır (Boyer, 1995). Bu durum fizyoloji çalışmalarının hızlanmasına öncülük etmiştir. Belirtilen stres etmenlerinin oluşturduğu zararın ve bitkilerin bu streslere verdikleri tepkilerin fizyolojik olarak belirlenmesi tarım ve ormancılık çalışmalarında bitkilerin ıslahı için önem taşımaktadır (Kramer, 1986; Lambers ve diğ., 2008).

Fizyoloji çalışmaları ile lokal şartlara adapte olmuş genotiplerin tespit edilmesi ormancılık çalışmalarına ve özellikle ağaçlandırma çalışmalarına büyük katkı sağlayacaktır. Stresler arasında karmaşık bir etkileşim olduğundan dolayı, fizyoloji çalışmaları, silvikültür, toprak, meteoroloji, genetik vb. alanlarda uzun dönem

disiplinler arası çalışmaları gerektirmektedir. Böylece stres faktörleri ve stresin engelleyici etkileri tanımlanarak ormanın verimliliği artırılabilir (Kramer, 1986; Larcher, 2003; Lambers ve diğ., 2008).

Ağaç fizyolojisi alanında bilinen ilk önemli çalışmalar 1727 yılında Stephan Hales tarafından yayınlanmıştır. Hales çalışmasında, kök ve hücre basıncı ve transpirasyonunu ölçerek suyun odunda kabuğa göre daha yukarılara kadar taşındığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca ağacın özünde hayvanlardaki kan akışı gibi benzer herhangi bir akışın olmadığı kanısına varmıştır. Araştırmacının çalışmaları bir yüzyıl sonrasına kadar ihmal edilmiş ve fizyoloji çalışmalarında göz önüne alınmamıştır (Hales, 1727; Kramer, 1986).

Modern bitki fizyolojisi çalışmalarının ise 19. yüzyılın ortalarında silvikültür çalışmaları ile Almanya'da başladığı bildirilmektedir (Kramer, 1986). Daha sonra çalışmalar tüm dünya çapında ilerlemiş, 20. yüzyılda biyologlar, silvikültürcüler ve ekologlar bitkilerde suyun etkisi, ışık-sıcaklık stresi ve rekabeti ile ağaçların doğal yayılış alanları gibi konular üzerinde çalışmışlardır (Kramer, 1986; Buchmann, 2002). Günümüzde ise teknolojinin ilerlemesi ile bitki fizyolojisi alanında da ileri düzeyde araştırma çalışmaları yapılmaktadır.

2.3. BİTKİ STRES FİZYOLOJİSİ

Stres değişik şekillerde tarif edilmekle birlikte özetle; bitkilerin gelişim ve verimliliklerini negatif yönde etkileyen çevre faktörleri olarak tanımlanmaktadır (Kozlowski ve Pallardy, 1996; Larcher, 2003; Özen ve Onay 2007; Lambers ve diğ., 2008). Ayrıca canlılarda hasar meydana getiren güç olarak da tanımlanabilir (Kocaçalışkan, 2008). Stresin ölçülmesi ise genellikle bitkinin yaşayabilirlik, verimlilik, büyüme (biyolojik kütle birikimi) ya da primer özümleme işlemlerine dayanılarak saptanabilmektedir. Bu parametrelerin tümü bitkinin büyümesi ile ilişkilidir (Taiz ve Zeiger, 2008). Ağaç fizyolojisi, otsu ve tek yıllık bitkilere göre daha komplekstir.

Hem doğal hem de tarımsal koşullar altında, bitkiler sıklıkla çevresel streslere maruz kalırlar. Hava sıcaklığı gibi diğer bazı çevresel etmenler yalnızca birkaç dakikalığına stres oluştururken; topraktaki su içeriği gibi diğer stresler günlerce sürebilir. Topraktaki mineral eksikliği ise aylarca sürebilir. Optimumun altındaki iklim ve toprak koşullarının

oluşturduğu stres etmenleri nedeniyle bitki verimliliği olumsuz yönde etkilenmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008).

Tablo 2.1: Kaynaklarına göre bitkileri etkileyen stres çeşitleri (Kocaçalışkan, 2008).

A. FİZİKSEL	B. KİMYASAL	C. BİYOLOJİK
1. Kuraklık	1. Tuzluluk	1. Allelopati
2. Sıcaklık	2. Besin	2. Rekabet
3. Işınlr	3. Hava kirliliği	3. Parazitizm
4. Elektromanyetik alan	4. Pestisitler	4. İnsan tahribi
5. Rüzgar ve Fırtına	5. Herbisitler	5. Hayvan tahribi
6. Toprak yapısı	6. Toprak pH'sı	6. Hastalıklar

Eğer bitkiler herhangi bir stres kaynağına maruz değilseler, bu durumda stresten söz edilemez. Bu sonuç bazı fizyologlarca “sıfır stres” olarak adlandırılmaktadır. Stres dereceleri çok geniş sınırlar içindedir. Sıfır stresten ılımlı ve şiddetli strese kadar değişken dereceler söz konusu olabilir. Fakat doğada stressiz bir ortam çok zor bulunur. Stresin şiddeti yanında bitkinin strese maruz kalma süresi de çok önemlidir. örneğin kısa süreli streslerde bitkinin tepkisi dışı aksetmeyebilir (Kocaçalışkan, 2008).

Stresin dereceleri bitki türüne göre değişebilmektedir. Bir bitki türünde şiddetli strese sebep olan bir etken, başka bir türde ılımlı ya da sıfır bir strese neden olabilmektedir. Stresin derecesi, canlı sistemlerdeki metabolik olayların değişimine etki eden enerji miktarına da bağlıdır (Kozlowski ve Pallardy, 1996; Kocaçalışkan, 2008). Bir bitkinin tümü veya bazı kısımları (tohumlar, dormant tomurcuklar, dormant hücreler) strese karşı dirençli olabilirken bazı kısımlar (meristem dokular, sukkulent organlar, genç fideler) ise strese duyarlıdır (Kocaçalışkan, 2008).

Bitkiler stres koşullarına karşı birçok koruyucu mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bitki herhangi bir çevre faktörü (sıcaklık, kuraklık, don vb.) ile karşılaşırse strese karşı direnç geliştirmekte ve zamanla bitki bu çevreye uyum sağlayabilmektedir. Bu çevre değişikliği aniden olursa çoğu bitki şiddetli streslere maruz kalır ve bu strese tolerans gösteremeyerek ölürler. Genç bitkiler stresten daha çabuk etkilenir fakat iyi cevap verirler, yaşlı bitkiler ise daha zor etkilenir, daha geç cevap verirler (Özen ve Onay, 2007). Bir stres faktörünün bitkide cevap bulma sırası (Şekil 2.2)'de şematik olarak gösterilmiştir



Şekil 2.2: Strese karşı oluşan cevapların bitkideki düzeni (Kocaçalışkan, 2008)

Stresin bitkide meydana getirdiği gerilim geriye dönüşlü fiziksel ve kimyasal değişmelere neden oluyorsa buna *elastik gerilim* denir. Çoğu zaman tarım ve ormancılıkta bu gerilimin çok önemli bir etkisi yoktur. Çünkü stres ortadan kalktığında gerilim de ortadan kalkar. Ancak stresin uzun süre devam etmesi ve şiddetini artırması bu kez geriye dönüşsüz bir gerilim oluşturur. Buna da *plastik gerilim* denir. Önemli olan bu gerilimin etkisidir, çünkü nihai etkisi ölümdür (Çırak ve Esendal, 2006).

Bir bitkinin herhangi bir stres faktörüne önceden maruz kalması sonucu toleransı artmış ise bitkinin söz konusu etmene karşı direncinin artabileceği ifade edilmektedir. Bilindiği gibi adaptasyon ise toleranstan farklılık göstermektedir. Adaptasyon pek çok nesil boyunca seçim sonucu kazanılan, genetiksel olarak belirlenmiş direncin düzeyini belirtmektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Çevresel streslere adaptasyon ve direncin artması (alışma) morfolojik, anatomik, hücresel, biyokimyasal ve moleküler düzeyde olmak üzere tüm organizasyon düzeylerinde ortaya çıkan olaylar sonucu oluşur. Örneğin su kıtlığına yanıt olarak yaprakların solması, hem yapraktan su kaybını hem de gelen ışığı azaltır. Böylece yapraklar üzerinde ısı stresinin etkisi azalır.

Genel olarak bitkiler bir veya birden fazla değişik stres şartlarına karşı aynı cevabı vermezler. Fakat stres etmenleri birbirleri ile de ilişki halindedir. Örneğin düşük sıcaklık ve donma suyun aktivitesinde azalmaya ve osmotik strese neden olur. Yine bir strese gösterilen tolerans diğer bir strese alıştırma sonucunda uyarılmaktadır. Bu davranış, birden fazla strese karşı gösterilen direnç mekanizmasının, ortak pek çok yönünün olduğunu göstermektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Örneğin bir bitki birden çok stres faktörüne maruz bırakılırsa, stres faktörlerinden en kuvvetlisine bitki tarafından daha önce cevap bulunarak mekanizma geliştirilir. Dolayısı ile ilk stres faktörü, organizmayı ikinci bir strese karşı da hazırlamış olur. Söz konusu ikinci strese bitki daha kolay ve çabuk cevap verebilir. Bu durum *çapraz korunma* olarak adlandırılmaktadır (Özen ve Onay, 2007).

Yukarıda belirtildiği gibi bitki üzerinde olumsuz etki yapan birçok stres faktörü mevcuttur. Bunlardan çalışma kapsamında ele alınan kuraklık ve don stresi aşığıda alt başlıklarda açıklanmaya çalışılmıştır.

2.3.1. Kuraklık Stresi

Su bitkinin yaşamında hayati bir yol oynamaktadır. Bitki tarafından fotosentezle yapılan her gram başına organik madde için kökler tarafından yaklaşık 500 gr su alınır. Bu su bitkinin bir ucundan diğer bir ucuna taşınarak atmosfere verilir. Su akışındaki küçük dengesizlikler bile su kıtlığına yol açarak hücredeki pek çok işlemde önemli bozulmalara neden olabilir (Kramer, 1983; Hale ve Orcutt, 1987; Çepel, 1993; Lambers ve diğ., 2008). Bu nedenle her bitkinin su alımı ve kaybını çok iyi düzenlemesi gerekir. Bu dengenin sağlanması kara bitkileri için ciddi bir sorun oluşturmaktadır. (Taiz ve Zeiger 2008).

Büyümekte olan bir bitki dokularının %80 ile 95'i sudan oluşmaktadır. Kara bitkileri hareket edemedikleri için ihtiyaç duydukları suyu topraktan almak zorundadır. Bitki tarafından alınan suyun sadece %5'lik gibi çok küçük bir kısmı büyüme ve biyokimyasal reaksiyonlar için kullanılırken geri kalan kısmı transpirasyon yolu ile su buharı halinde yapraklardan atmosfere verilmektedir (Hale ve Orcutt, 1987; Kozlowski ve Pallardy, 1996; Özen ve Onay, 2007).

Kuraklık Stresi; Bitkilerin ihtiyacı olan suyu alamaması durumunda ortaya çıkan bir stres türü olarak tanımlanabilir (Kramer, 1983; Özen ve onay, 2007). Aynı zamanda *su stresi* olarak da ifade edilir. Kuraklık stresi toprakta bulunan ulaşılabilir su miktarının azalması ve atmosferik koşullar sebebiyle suyun transpirasyon ve epepotranspirasyon ile azalması sonucu meydana gelmektedir (Hale ve Orcutt, 1987). Açıklananların aksine bazen de bitkiler su fazlalığından dolayı yeterli oksijeni sağlayamazlar ve oksijen stresine girerler.

Toprakta yeterli suyun bulunmasına karşın çeşitli sebeplerden dolayı bitki bu sudan faydalanamayabilir. Bu duruma ise *fizyolojik kuraklık* denir. Örneğin kış aylarında toprak soğuk ve donmuş halde fakat toprak üstü havanın sıcaklığı daha fazla olursa bitki toprak üstü kısımları ile transpirasyon yaparak kaybettiği suyu topraktan alamaz. Bazen de çok sert ve geçirimsiz bir toprak tabakasından dolayı bitkiler su alımını gerçekleştiremezler ve bunun sonucunda fizyolojik kuraklık meydana gelir (Çırak ve Esendal, 2006).

Bitkiler, kuraklık nedeni ile oluşan doğrudan ve dolaylı zararların etkisinden kurtulmak veya bu etkileri en aza indirebilmek için morfolojik ve fizyolojik yönden çeşitli uyum mekanizmaları geliştirmişlerdir (Kramer, 1983; Çalıkoğlu, 2002). Örneğin; Toprakta suyun alınımı için yaygın bir kök sisteminin geliştirilmesi, suyu yapraklara ulaştırmak için ksilemin trake ve trakeitlerinde düşük bir direnç yolu, evaporasyonu azaltmak için bitki yüzeyini örten hidrofobik bir kütikula bir uyum mekanizmasıdır. Yine gaz alışverişine izin veren yaprak yüzeyindeki mikroskopik stomalar ve stoma açıklığının boyutunu düzenleyen bekçi hücrelerin varlığı bu uyum mekanizmalarına örnek olarak verilebilir (Taiz ve Zeiger, 2008).

Benzer şekilde kuraklıktan kurtulmak için söz konusu savunma mekanizmaları ile birlikte, üreme için bir miktar suya sahip olan bitkiler ile yaşam döngülerini kuraklık başlamadan önce tamamlayan bitkiler (kuraklıktan kaçanlar) tohum üreterek hayatlarını devam ettirirler. Bu strateji bitki neslinin devamında önemli bir yer tutar.

Kuraklığın bitkiler üzerindeki etkileri;

Bitki hücrelerinin fizyolojik görevlerini yapabilmeleri için belirli bir gerginlik halinde bulunması gerekir. Turgor denilen bu aktif fizyolojik yeteneğin kazanılabilmesi ancak

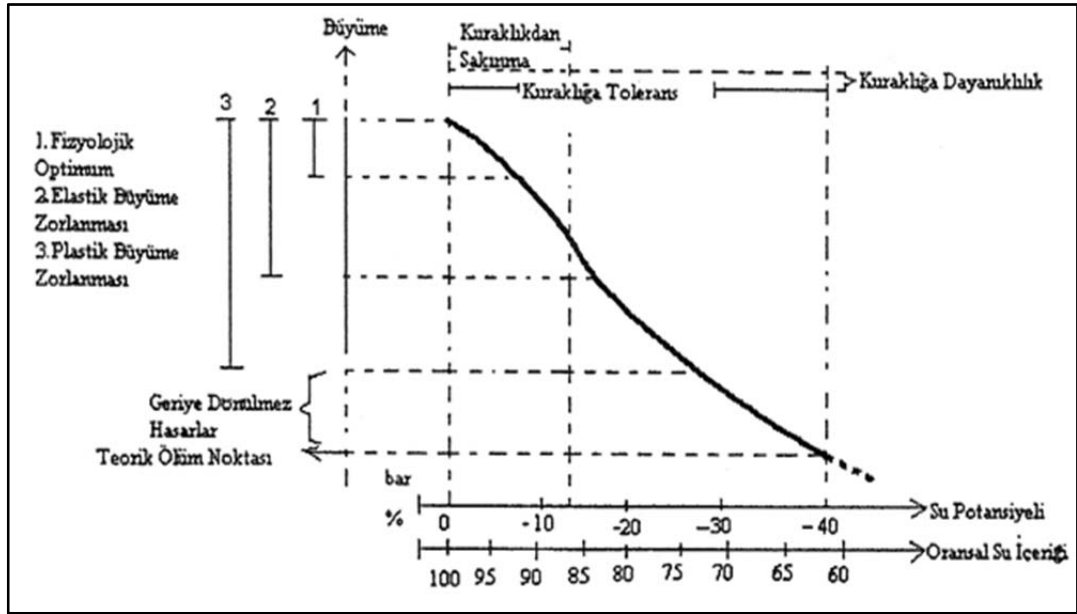
hücrelerde belirli bir miktar suyun bulunmasına bağlıdır (Çepel, 1993). Aksi durumda veya bitkilerin su içeriği düştükçe hücreler büzülür ve hücre çeperi gevşer. Hücre hacmindeki bu azalma, hücrelerde turgor basıncının ardından çözülmüş madde konsantrasyonunun düşmesine neden olur. Kapladığı alan azaldığından plazma zarı kalınlaşır ve üzerindeki baskı artar. Dolayısı ile hücre çeperinde mekanik deformasyonlar başlayarak metabolik faaliyet azalır veya durur. Turgorun azalması, su stresinin ilk ve önemli bir biyofiziksel etkisidir. Yapılan çeşitli araştırmalar, su açığının artmasıyla fizyolojik süreçlerin yavaşladığını veya durduğunu ortaya çıkarmıştır (Çepel, 1993; Taiz ve Zeiger, 2008).

Su stresinin bitki üzerinde söz edilen doğrudan etkilerinin yanında, stomaların kapanması nedeniyle azalan karbondioksit konsantrasyonuna paralel olarak fotosentez yolu ile madde üretiminin azalması, birçok enzimin inaktif hale gelmesi ve fosfor gibi çeşitli besin maddelerinin hücre içerisine alınımının yavaşlaması da su kıtlığının dolaylı etkileri olarak özetlenebilir (Levitt, 1972; Kozlowski ve Pallardy, 1996).

Bitkilerin büyüme ve işlevlerini sürdürmek için gereksinim duydukları tüm kaynaklar arasında su en bol bulunanı ve aynı zamanda verimliliği en fazla sınırlayan maddedir. Bu nedenle, bitkiler tarafından suyun alımı ve kaybına ilişkin bilgiler önemlidir. Nitekim su stresi konusunda pek çok fizyolojik araştırma yapılarak suyun tek başına veya diğer çevresel faktörlerle birlikte yeryüzünde vejetasyon dağılımını belirleyen önemli bir faktör olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Kramer, 1983; Kozlowski ve Pallardy, 1996; Işık ve diğ., 2002).

Bitkiler, kuraklık stresine karşı iki yönde dayanıklılık (Drought Resistance) geliştirmektedirler. Bunlardan birincisi, Kuraklıktan Sakınma (Drought Avoidance) diğeri ise Kuraklığa Tolerans (Drought Tolerance) tır. **Kuraklıktan sakınma;** bitkilerin belirli ölçüde fizyolojik fakat daha çok çeşitli anatomik ve morfolojik özellikler sayesinde, bünyesinden su kaybını engellemesi durumudur. **Kuraklığa tolerans ise;** bitkinin su kaybına maruz kaldığı halde, buna nispeten daha fazla süre dayanabilmesidir (Şekil 2.3). Kuraklıktan sakınma ise iyi bir niteliktir ve bu tür bitkiler kuraklık koşullarında daha iyi bir büyüme ve gelişme göstermektedir (Larcher, 2003).

Kuraklıktan sakınma yetenekleri gelişmiş bitkiler, su kaybı sürecinin başlangıcında çeşitli engelleri devreye sokarak, kuraklık stresinin doğrudan ve dolaylı zararlarını bünyelerinden uzak tutabilmektedirler. Kuraklığa toleranslı bitkiler ise, elastik ve plastik zorlanma marjlarını daha geniş seviyede tutarak, kuraklık stresinin daha ileri derecelerini tolere edebilmektedirler. Elastik veya plastik zorlanmaya dayanma yeteneğinin iyi bir ölçütü, bitki hücrelerinin elastikiyet derecesi, yani elastik modülüdür (Çalıköğlü, 2002).



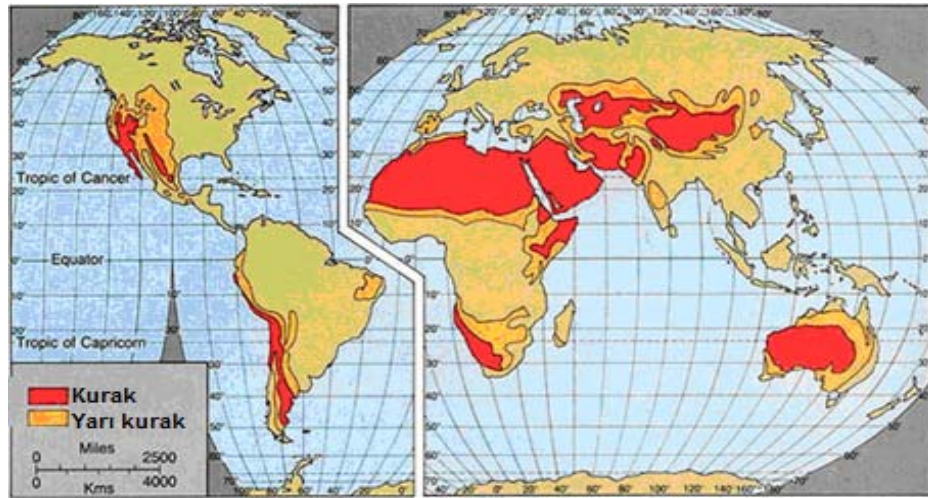
Şekil 2.3: Su kaybı sürecinde bir bitkinin kuraklığa dayanıklılık mekanizmalarının durumu Levitt'e atfen (Çalıköğlü, 2002).

Kuraklık ya da su noksanlığının bitkiler üzerinde neden olduğu diğer bir olumsuzluk ta ksilemde gerilimin artmasına bağlı olarak havanın hücre çeperlerindeki mikroskobik porlara çekilmesi sonucu su iletimini ile ortaya çıkan “kavitasyon” ya da “emboli” oluşumudur. Su gerilimine bağlı olarak ortaya çıkan emboli ksilemde su iletiminin tümüyle kesilmesine neden olarak ölümcül sonuçlar meydana getirmektedir. Bitkiler emboliye bağlı su yetersizliklerini stomatik düzenlemeler ile gidermeye çalışırlar. Kaviteasyon yada embolizm doğrudan gözlemler, akustik emisyon tekniği ve hidrolik teknikler'e dayanan çeşitli yöntemlerle saptanmaktadır (Cochard, 2006; Dirik, 2014).

Kuraklık stresi bazı durumlarda bitkiler için yararlı da olabilmektedir. İlmli stres derecelerinde bitkiler, daha yüksek ve uzun süreli kuraklık stresine karşı koyabilecek bazı uyarlamalar geliştirebilmektedir. Örneğin bitkiyi kuraklık ile koşullandırma

bitkilerin transpirasyon tutumlarını düzenleyebilmektedir. Duglas'ta yapılan bir çalışmada, dikimden önce su stresine maruz bırakılmış Duglas fidanlarının, kurak koşullarda yapılan ağaçlandırmalarda, normal sulanarak yetiştirilen Duglas fidanlarına oranla transpirasyon oranlarını önemli ölçüde azaltabildikleri tespit edilmiştir (Unterscheutz vd., 1974'e atfen Çalikoğlu, 2002). *Thuja occidentalis* üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise ılımlı ve orta derecede su stresine maruz bırakılan *Thuja* fidanlarında, normal sulanan fidanlara göre günlük transpirasyon miktarının %35 ve %50 oranında azaldığı, yine aynı şekilde strese maruz bırakılan fidanların osmotik potansiyellerinin arttığı ortaya konmuştur (Edwards ve Dixon, 1995). Ayrıca çöl ve step bitkilerinin kurak dönemi takip eden kısa süreli ani yağışlardan hemen sonra yapılan gözlemlerde çok fazla miktarda kılcal kök geliştirebildikleri belirlenmiştir (Çepel, 1993; Yağmur, 2009). Yine su stresine maruz bırakılmış Toros Sediri (*Cedrus libani*) fidanlarında kök yenilemesinin iyi sulanmış fidanlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Boydak ve Dirik, 1990).

Kuraklığın ormancılık çalışmalarına etkisi; Her ne kadar kuraklık stresi bitki gelişimi ve yetiştirilmesine önemli bir engel oluşturuyorsa da, kurak ve yarıkurak alanlar ziraat ve ormancılık çalışmaları için önemli bir potansiyel taşımaktadır. Nitekim dünya topraklarının yaklaşık %35'i kurak ve yarıkurak alanlardan oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu alanlarda da insanların beklediği madde ve hizmetlerin (erozyonu önleme, tarımsal verimi artırma gibi) üretimi önemli bir yer teşkil etmektedir.



Şekil 2.4: Dünya üzerindeki kurak ve yarıkurak bölgeler.

Diğer taraftan çeşitli nedenlerden dolayı, yeryüzünde ve ülkemizde, kuraklığın etkisi altındaki alanların ulaştığı büyüklük, bu potansiyel alanları ormancılık yönünden oldukça önemli kılmaktadır.

Orman ağacı türlerinde de kuraklık büyük oranda büyümede gerilemeye neden olmaktadır (Newton ve diğ., 1991, Işık ve diğ., 2002). Yapılan araştırmalarda yıllık halka genişliğindeki varyasyonların %70-80'nin yağışlardaki farklılıklardan kaynaklandığı belirtilmektedir (Newton ve diğ., 1991).

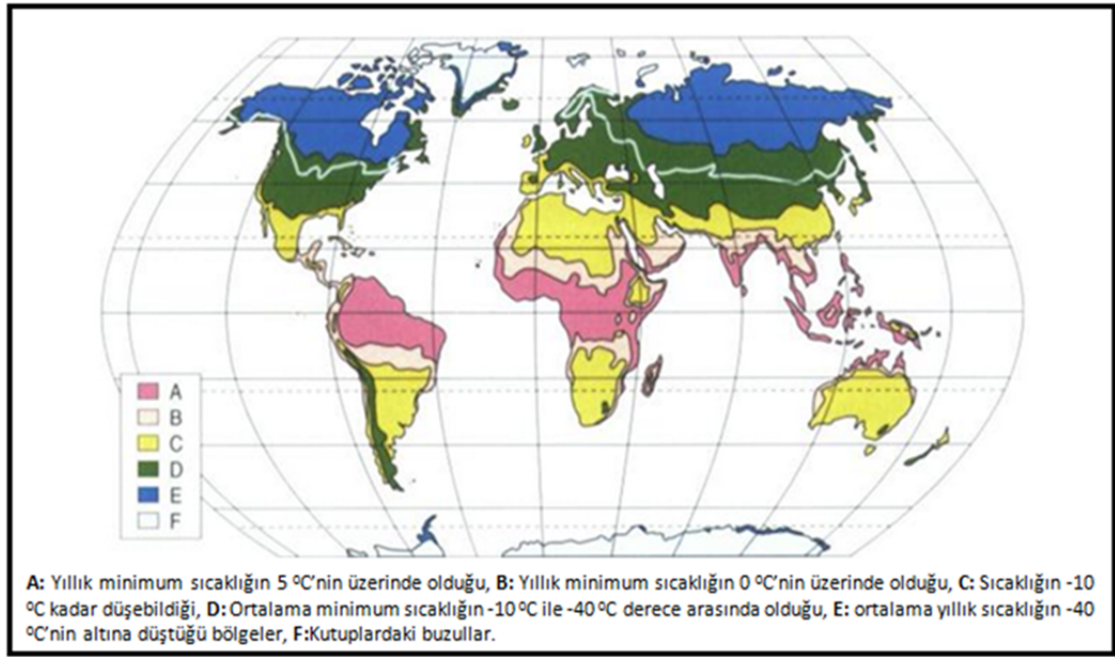
Kuraklık stresi, hem doğal gençleştirme hem de ağaçlandırma çalışmalarında fidan ölümlerinin önemli bir nedeni olarak görülmektedir. Nitekim yapılan araştırmalarda çam türleri ile yapılan ağaçlandırma çalışmalarındaki fidan ölümlerinin %57'sinin kuraklığa bağlı olduğu bildirilmektedir (Newton ve diğ., 1991; Işık ve diğ., 2001). Ülkemizde İç Anadolu bölgesinde yapılan Karaçam ağaçlandırmaları da bu durumu destekler mahiyette olup fidanlardaki kurumaların büyük oranda kuraklığa bağlı olduğu tespit edilmiştir (Çelik ve diğ., 2002).

2.3.2. Düşük Sıcaklık ve Don Stresi

Bitkilerin büyümesini, verimliliğini ve yayılışını etkileyen stres etmenlerinden düşük sıcaklık stresi de bitkideki biyokimyasal aktiviteleri sekteye uğratmaktadır. Düşük sıcaklıklar süre ve yoğunluğa bağlı olarak bitkilerin metabolik aktivitelerini, büyümelerini ve canlılıklarını bozarak türün doğal yayılışını etkilemektedir (Semerci, 2005). Her yıl dünya topraklarının yaklaşık 2/3'si donma noktasının altındaki düşük sıcaklıklara maruz kalabilmektedir (Beck ve diğ., 2004; Larcher, 2001). Yine Dünya yüz ölçümünün %42'sinde yıllık ortalama minimum hava sıcaklığı -20°C 'nin altındadır (Şekil 2.5) (Larcher, 2003).

Düşük sıcaklık stresi; sıcaklık derecelerine göre soğuk ve don stresi olarak tanımlanmaktadır. *Soğuk stresi*, sıcaklığın 0°C ile $10-15^{\circ}\text{C}$ arasında olduğunda görülmekte, *Don stresi ise*, Sıcaklığın 0°C altına düşmesi sonucu meydana gelmektedir. Genelde bu durum literatürde bir ayırım yapılmadan don stresi olarak adlandırılmaktadır (Hopkins, 1995; Kacar ve diğ., 2002).

Bitkiler soğuk ve donlara karşı tutumları bakımından 3 gruba ayrılmaktadır (Charrier, 2011; Dirik 2014). Bunlar a- Soğuklara duyarlı olan ve $+12^{\circ}\text{C}$ 'nin altında zarar gören türler (çoğunlukla tropik bitkiler), b- Soğuklara dayanıklı, donlara hassas türler ($+12^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklara uyum sağlayan ancak donlara duyarlı olan türler), c- Donlara dayanıklı türler (donma düzeyinin altındaki düşük sıcaklıklara uyum sağlayan türler) (Charrier, 2011; Dirik, 2014).



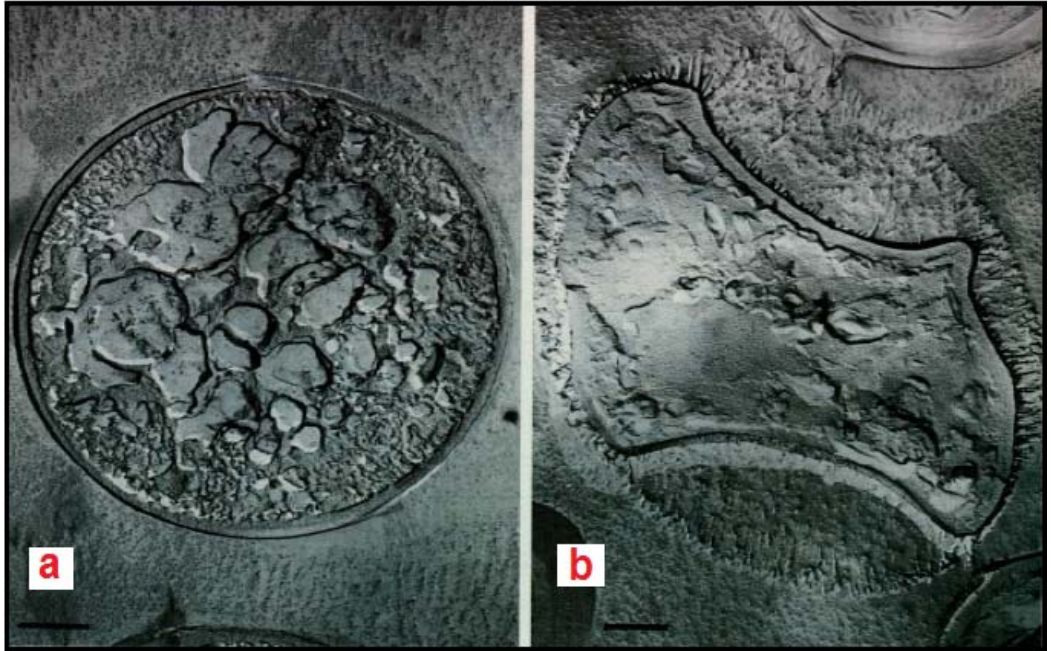
Şekil 2.5: Dünya üzerinde düşük sıcaklıkların dağılımı (Larcher, 2003).

Bitkilerin donma sıcaklığına maruz kaldıklarında neler olabileceğinin bilinmesi için, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve donma olayına bakmak gerekir. Saf suda 0°C 'de katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya bir faz geçişi söz konusudur. Bitki hücrelerinde olduğu gibi çözeltiler farklı sıcaklıklarda donma ve erime gösterirler (Kocaçalışkan, 2008).

Sıcaklığın 0°C 'nin altına düşmesiyle başlayan don zararı, çevre sıcaklığının düşük olmasından çok hücre suyunun donması ile başlar. Sıvı suya göre buzun kimyasal potansiyeli çok daha azdır. Buz oluşumu önce hücreler arası boşlukta başlar. Hücredeki su, plazma membranını geçerek buz oluşumu nedeniyle su potansiyeli azalan hücreler arası boşluğa geçer ve donar, buda hücrede su noksanlığına yol açar (Larcher, 2003; Çolak, 2012).

Bitkide su 0 °C'nin altına düştüğü zaman öncelikle apoplasttaki su donar. Hücre duvarlarında ve hücreler arası boşlukta buz kristalleri oluşur. Apoplasttaki su tamamen donsa bile, dona dayanıklı bitkiler havaların ısınması ile tekrar eski haline dönebilir ancak apoplasttan sonra simplastta da buz kristalleri oluşur ise bitki eski durumuna dönemez. Don stresindeki en önemli zarar bu buz kristallerinin oluşumu ile meydana gelmektedir (Larcher, 2003; Çolak, 2012).

Hücrede meydana gelen soğuma hızlı ise hücre içi buz oluşumundan, soğuma yavaş ise hücre dışı buz oluşumundan (Şekil 2.6) söz edilmektedir (Steponkus, 1984; Çolak, 2012). Hücre içi buz oluşumunda önceden bitki tarafından soğuğa her hangi bir uyum gösterilmez. Hücre dışı buz oluşumunda ise hücre su kaybına uğramaktadır. Bu oluşum kuru hava etkisi ile aynıdır. Su kaybının derecesi ile birlikte hücrenin hacmi azalır ve sitoplazması geri dönüşümsüz olarak bozulur. Hücre dışı buz oluşumu önce hücreler arası boşluklarda, sonra da protoplast ile hücre duvarı arasında meydana gelmektedir. (Larcher, 2003; Semerci, 2005).



Şekil 2.6: Hücre içi (a) ve hücreler arası buz oluşumu (b) (Larcher, 2003).

Don stresinin bitkiler üzerindeki etkileri;

Belirtildiği üzere don zararı suyun donma noktası altındaki sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Düşük sıcaklık derecelerinin bitkilerin metabolik ve fizyolojik işlevleri üzerine olumsuz etkileri bilinmektedir. Bu etkiler, enzimatik aktivitenin azalması, membranlarının yapısının etkilenmesi, fotosentetik aktivitenin etkilenmesi, hücre zarlarındaki lipitlerin katılaşarak kristalize olması şeklinde özetlenebilir. Ayrıca, düşük sıcaklıklara duyarlı bitkiler, yüksek foton akışlarına ve üşütücü sıcaklıklara maruz bırakıldıklarında ışık tarafından engellenir ve bunun sonucunda fotosentez yapan organ akut zarar görür (Larcher, 2003). Yine düşük toprak sıcaklığı da köklerin su iletkenliğini azaltır ve suyun vizkozitesini artırır. Bu olaylar sürgünlerin su kaybederek kurumasına neden olur (Beck ve diğ., 2004).

Ektrem düşük sıcaklıklar ağaçlarda kuraklık etkilerine benzer şekilde “*kavitasyon*” ya da “*emboli*” oluşumlarına yol açabilir. “Kış embolisi” olarak tanımlanan bu oluşumda ksilem borularının donması sonucunda gazların buzun içinde çözünürlükleri azalır ve hava kabarcıkları meydana gelir. Ksilemdeki su iletimini kesintiye uğratan kabarcıklar ağaçlar tarafından giderilemediğinde kalıcı hasarlar ortaya çıkar. Kış embolisi genel olarak yaprağını döken türlerde iğne yapraklı türlere göre daha fazla görülmektedir. Kış embolisi ağaçlarda normal fizyolojik döngünün bir parçası gibidir yaşamsal açıdan bir risk oluşturmamaktadır. Fakat geç donlarla meydana gelen emboli fiyolojik açıdan ciddi zararlara neden olmaktadır (Cochard, 2006; Dirik, 2014).

Bitkilerin donma noktasının altındaki sıcaklıklarda yaşayabilmelerini sağlayan iki çeşit mekanizma vardır. Bitkiler ya donmaktan kaçınırlar ya da donmayı tolere ederek bu koşullarda yaşayabilirler. Odunsu bitkilerde bu hayatta kalma stratejilerinin ikisi de görülebilir (Levitt, 1980; Michael ve Thomashow, 1999; Linden, 2002).

Donmadan kaçınmada; stoma sayısı ve büyüklüğü, yaprak alanı ve kalınlığı, bitkinin kimyasal kompozisyonu etkili olmaktadır. Osmotik ayarlama dondan kaçınmaya örnek olarak verilebilir. Yine bitkinin stres başlamadan önce vejetasyon süresini tamamlayarak dormant hale geçmesi de kaçınma olayına örnek verilebilir. *Donma toleransı ise*; stres faktörlerinin etkilerinin giderilmesi, azaltılması ve ortadan kaldırılması gibi mekanizmalarla sağlanır. Donma toleransı hücre büzülmesini ve

donma sırasındaki su kaybını kapsar. Donma sırasında hücre çeperinin esnekliği ile orantılı olarak büzülerek hücre içi suyunun bir kısmını hücre dışına verir. Böylece hücre içi konsantrasyon artarak donma noktası düşer (Linden, 2002; Larcher, 2003; Semerci, 2005).

Dona dayanıklılık; bitkinin 0 °C'nin altındaki çok düşük sıcaklıklarda zarar görmeksizin, canlı kalabilme yeteneği şeklinde tanımlanmıştır (Glerum, 1985). Son zamanlarda ise bitkinin dona dayanıklılık düzeyi, yaprakların veya sürgünlerin %50 oranında zarar görmesine veya populasyonun %50'sinin ölmesine neden olan düşük sıcaklık değeri olarak ifade edilmektedir (Bannister ve Neuner, 2001; Burr ve diğ., 2001; Hawkins ve diğ., 2003).

Dormansi (uyku hali), kış periyodundaki kötü koşullarda odunsu bitkilerin hayatta kalmasına izin veren mekanizmaların çalışmasını sağlayan bir evredir. Bu yüzden dona dayanıklılık bitkilerin uyku halinin hangi aşamada olduğu ile yakından ilişkilidir. Genellikle derin uyku döneminde dona dayanıklılık en yüksek düzeyde iken, uykudan çıkış ve uykuya giriş dönemlerinde daha düşük olmaktadır (Burr, 1990). Pek çok odunsu bitki derin uyku döneminde hücre içi düzenlemesini yaparak gereken önlemleri almaktadır (Larcher, 2003).

Odunsu bitkilerde dona dayanıklılık veya duyarlılık bitkinin türüne, genotipine, yaşına bağlı olarak değiştiği gibi, aynı bitkinin dona dayanıklılık düzeyi mevsimsel bir değişim de göstermektedir (Kozlowski ve diğ., 1991; Thomashow, 1999). Bitkiler diğer stres faktörlerinde olduğu gibi, dona dayanabilmek için de fizyolojik işlevlerinde yeni düzenlemelere giderler (Bigras et. al., 2001). Bu düzenlemeleri en iyi karakterize eden değişiklikler; gen ekspresyonu ve hormon düzeyindeki değişimler, çözünebilir şeker, amino asit ve organik asit miktarlarındaki artış, osmotik ve koruyucu stres proteinlerinin biriktirilme şeklinde özetlenebilir (Thomashow, 1999; Palva ve diğ., 2002; Lambers ve diğ., 2008; Çolak, 2012).

Dondurucu sıcaklıkların ağaç türleri üzerindeki zararlı etkileri, gerçekleştiği dönemlere göre “sonbahar donları” ya da “erken donlar”, “kış donları” ve “ilkbahar donları” ya da “geç donlar” şeklinde tanımlanır. Sonbahar donları (erken donlar) ağaçlarda henüz yeterli düzeyde sertleşme oluşmadığı dönemde gerçekleştiği için anatomik ve fizyolojik

kökenli bozulmalara sebep olur. Kış donları tomurcuklarda çürüme ve kurumalara, herdem yeşil türlerde yaprak yanıklarına ve dökülmelerine, gövdelerde don çatlaklarına ve ksilemde solma ya da lekelenmeye yol açar. İlkbahar donları da (geç donlar) sürgün ve çiçek tomurcuklarının dökülmesine, seyrekte olsa tomurcukların patlamasından sonra gerçekleştiğinde sürgün ve yapraklarda kurumalara ve bunlara bağlantılı olarak büyümenin azalmasına neden olur (Dirik, 2014).

İklim değişikliğinin de don zararı üzerinde önemli bir etkisi olduğu vurgulanmaktadır (Lambers ve diğ., 2008). Avrupa'nın odunsu bitkilerinde, *Picea abies*, *Pinus sylvestris* ve *Pinus contorta* türleri üzerine yapılan bir çalışmada; *Pinus contorta* fidanlarında, iğne yapraklardaki şeker konsantrasyonundaki %15 azalma ile türün dona karşı daha duyarlı hale geldiği gözlemlenmiştir. Yine aynı çalışmada *Pinus sylvestris* fidanlarının bünyelerinde yüksek karbonhidrat rezervlerini içermesi ile dondan kaçtığı belirtilmiştir. Çalışma neticesinde bitkinin şeker düzeyinin artması ile soğuğa dayanıklılık arasında güçlü doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir (Ögren, 2001).

Düşük sıcaklıklara uyum;

Bitkilerin iklim koşullarına alıştırılması (cold acclimation), bitkilerde dona dayanıklılığı arttırmaktadır. Odunsu bitkilerde kışın başlangıcı yani günlerin yavaş yavaş kısılması, ve gecelerin soğuması ile soğuğa uyum başlamaktadır. Soğuğa uyum sıcaklığı, türden türe değişmekle beraber odunsu bitkilerin birkaç gün veya birkaç hafta sıfırın biraz üzerindeki sıcaklık derecelerine (2-6 °C) maruz kalması ile soğuğa dayanıklılığın başladığı belirtilmektedir (Thomashow, 1999; Browse ve Xin, 2001). Soğuğa uyumun başlaması ile bitkilerde bazı metabolik ve yapısal düzenlemeler de başlamaktadır. Sıcaklığın giderek 0 °C'nin altına inmesi ile de odunsu bitkilerde dona dayanıklılık artış göstermektedir (Linden, 2002). Türlerde dona dayanıklılığın ölçülmesi, özellikle fidanlık ve ağaçlandırma çalışmalarında dona dayanıklı türlerin seçilip kullanılması için büyük önem taşımaktadır.

2.4. ODUNSU BİTKİLERDE KURAKLIĞA DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİ

Belirtildiği gibi bitkiler, kuraklık etkisiyle meydana gelen doğrudan ve dolaylı zararların etkisinden kurtulmak veya bu etkileri en aza indirebilmek için, morfolojik ve fizyolojik yönden birçok uyum mekanizması geliştirmişlerdir. Örneğin kuraklık stresi altında bitkiler uyarılar yoluyla hücrelerinde yapısal mekanizmalarını düzenlemektedirler. Yine uzun yıllar boyunca değişen çevre şartlarına uyum sağlayarak genetik olarak da bir mekanizma geliştirmektedir. Söz konusu bu yapısal mekanizmaların incelenerek bitkilerin kuraklığa karşı vermiş oldukları tepkimelerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Orman ağaçları üzerinde yapılan ilgili konuda bazı araştırmalar çamların; meşe, huş ve kavak gibi geniş yapraklı türlere göre daha fazla kuraklık toleransına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Yine bazı türlerde kuraklığa dayanıklılığın, coğrafik bölgelere bağlı olarak çeşitlilik gösterdiği de bildirilmektedir. Orman ağaçlarında özellikle bazı türlerde kuraklığa dayanma toleransının yüksek olduğu ve bu özelliğin belirli genler tarafından kontrol edildiği vurgulanmaktadır (Newton ve diğ., 1991, Işık ve diğ., 2002).

Bilindiği gibi, su bitkilerin yaşaması için temel ihtiyaç olup bitkide meydana gelen su eksikliği bitki büyümesini ve gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle öncelikli olarak bitki-su ilişkilerini incelemeye yönelik fizyolojik ve ekofizyolojik çalışmalar, bitkilerin kuraklığa dayanıklılığının belirlenmesinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bitkideki su düzeylerinin belirlenmesinde ise kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Örneğin psikrometrik yöntem, basınç odası yöntemi, krioskopik geçiş ölçme yöntemi ve basınç sondası yöntemi bunlardan bazılarıdır (Taiz ve Zeiger, 2008). Bu yöntemlerden en yaygın ve en güvenilir yöntem ise basınç odası yöntemidir. Yaygın kaniya göre basınç odası tekniği ile kullanılan basınç-hacim eğrileri ile su potansiyeli bileşenleri hızlı ve güvenilir bir biçimde belirlenmektedir (Boyer, 1995).

Odunsu bitkilerin kuraklığa karşı dayanıklılıklarını belirlemek amacıyla, özellikle transpirasyon analizleri yardımı ile bitkilerin su kayıplarına karşı stomatik düzenlemelerini inceleyen çalışmalar önemli bir yoğunluğa sahiptir (Jensen ve diğ., 1991; Dirik 1994; Stowe ve diğ., 2001; Çalıköğlü ve Tilki, 2002; Sinclair ve diğ.,

2005). Yine basınç-hacim eğrisi analizleri yöntemi ile bitki su bileşenlerinin belirlenmesi en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. (Tyree ve Hammel, 1972; Hinckley ve diğ., 1980; Colombo, 1987; Grossnickle, 1988; Schulte ve Henry 1992; Colombo ve Teng, 1992; Dirik, 2000; Çalikoğlu, 2002; Bartlett ve diğ., 2012; Zhang ve Zgeng, 2012).

Bu iki yöntem dışında günümüzde ayrıca, moleküler genetik, bitki özsuyu ölçümleri, stomatal iletkenlik, gaz değişim analizleri, klorofil floresans ölçümleri ve bitkilerin net fotosentez oranının belirlenmesi gibi yöntemlerde gelişen teknoloji ile birlikte bitkililerin fizyolojik yapılarının yanı sıra kuraklığa dayanıklılıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lebourgeois, 1998; Martin, 2001; Işık ve diğ., 2002; Bigras, 2005; Baquedano ve Castillo, 2007; Otieno ve diğ., 2007; Wool ve diğ., 2008; Wullschleger, 2011).

Yukarıda açıklanan bilgiler doğrultusunda öncelikle bitki su potansiyeli bileşenleri aşağıda tanımlandıktan sonra çalışma kapsamında Anadolu Karaçamı orijinlerinin kuraklığa karşı dayanıklılıklarının belirlenmesinde kullanılan, transpirasyon analizi ve basınç-hacim (P-V) eğrisi yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

2.4.1. Bitki Su Potansiyeli ve Bileşenleri

Bitkiler kökleriyle temas halinde oldukları topraktan absorpsiyon yoluyla su alırken, aynı zamanda toprak üstü organlarında cereyan eden özellikle transpirasyonla atmosfere su vermek durumundadır. Dolayısıyla kara bitkilerinin bir taraftan köklerinin emme gücü ile toprağın potansiyel ozmotik basıncını (emme gücü) yenebilmesi, diğer taraftan da atmosferin emme basıncına karşı koyabilmesi gerekir. Böylece bitkiler, koşullara göre değişken bir su gerilimi altında bulunmaktadır. Ancak bitkideki su durumunun fizyolojik olarak bir anlam kazanabilmesi için onun serbest enerjisi veya su potansiyeli ile belirlenmesi gerekir (Kramer, 1983; Boyer, 1995; Gonzales ve Roger, 2001; Semerci, 2002; Taiz ve Zeiger, 2008).

Su potansiyeli, bir sistemdeki suyun aynı sıcaklık ve basınç altındaki saf suyla karşılaştırıldığında sahip olduğu iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Lopushinsky, 1990'a atfen Semerci, 2006). Standart basınç ve sıcaklık altındaki saf

suyun su potansiyeli ise sıfırdır. Su potansiyeli basınç birimleri ile ifade edilmekte, çoğunlukla megapaskal (MPa) veya bar birimi kullanılmaktadır (1 MPa=10 bar).

Bitkideki fizyolojik işleyişle ilişkisi olan su düzeyinin belirlenebilmesinde kullanılacak en anlamlı ölçü bitkinin su potansiyelidir. Su potansiyeli, toprak-bitki-atmosfer sisteminde suyun hareketini kontrol eder. Bitkilerde su potansiyelini etkileyen başlıca faktörler; konsantrasyon, basınç ve yerçekimidir (Semerci, 2006; Taiz ve Zeiger 2008).

Su potansiyeli farklı bileşenlerden oluşmakta olup aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir (Kramer, 1983; Boyer, 1995; Richter, 1997; Gonzales ve Roger, 2001; Taiz ve Zeiger, 2008; Labers ve diğ., 2008; Martin, 2012).

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_{\pi} + \Psi_m \quad (2.1)$$

Formülde;

Ψ_w = Toplam su potansiyeli (Mpa veya bar)

Ψ_p = Turgor potansiyeli (Mpa veya bar)

Ψ_{π} veya Ψ_s = Hücre ozmotik potansiyeli (Mpa veya bar)

Ψ_m = Matrikal potansiyel (Mpa veya bar)

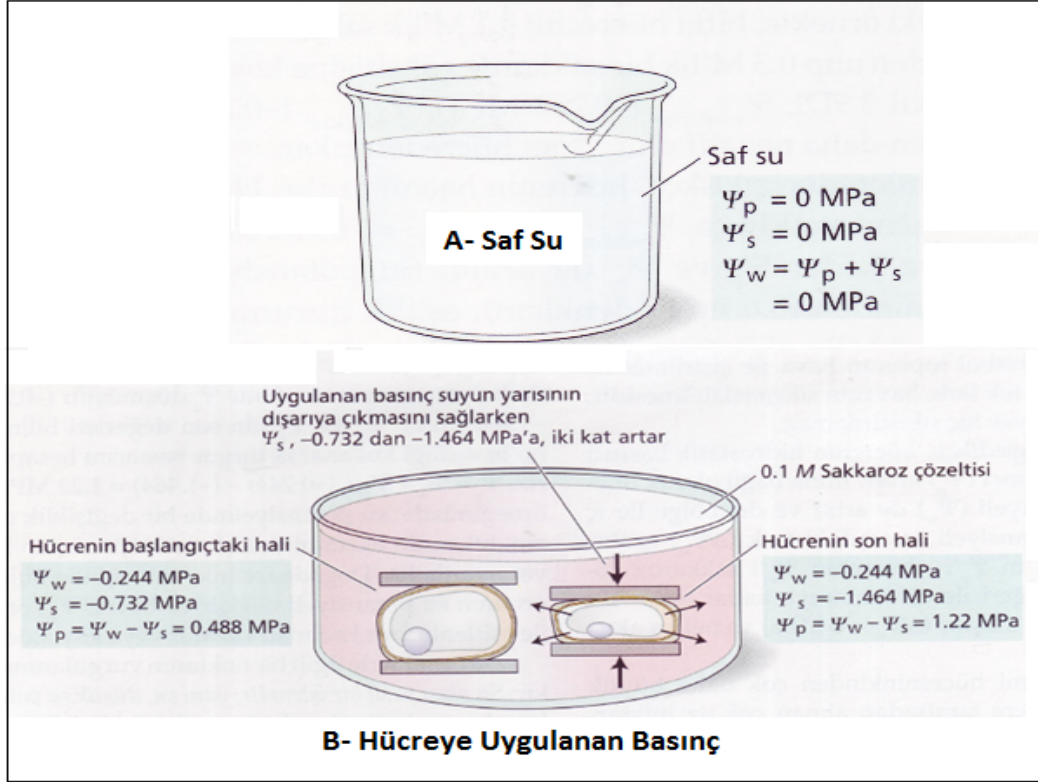
değerlerine karşılık gelmektedir. Ψ_m çok küçük ve ihmal edilebilir bir değer olduğundan genellikle formü aşağıdaki gibi kullanılmaktadır.

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_{\pi} \quad (2.2)$$

Hücre içerisindeki suyun hücre çeperine yaptığı basıncı gösteren turgor potansiyeli pozitif, bu basınca tam ters yönde etki yapan basıncı gösteren ozmotik potansiyel ise negatif bir değer taşır. Belirtildiği gibi ozmotik potansiyel (Ψ_{π}) ve matrik potansiyel (Ψ_m) daima negatif olması ve pozitif olan turgor potansiyelinin (Ψ_p) bunu giderememesinden dolayı bitkilerde su potansiyeli (Ψ_w) genelde negatif bir değere sahiptir (Boyer, 1995).

Hücre büyümesi, fotosentez ve bitki verimliliği su potansiyeli ve onun bileşenlerinden çok etkilenir. İnsanların vücut sıcaklığı gibi su potansiyeli de, genelde bitki sağlığının

iyi bir göstergesidir. Bir hücre su kaybetmeye başlayarak solarsa yani Ψ_p değeri sıfır (0) olursa, $\Psi_w = -\Psi_s$ olur. Su potansiyeli bileşenlerinin saf sudaki ve 0.1 mol sakkaroz çözeltisi içindeki değerleri Şekil 2.7’de açıklanmıştır.

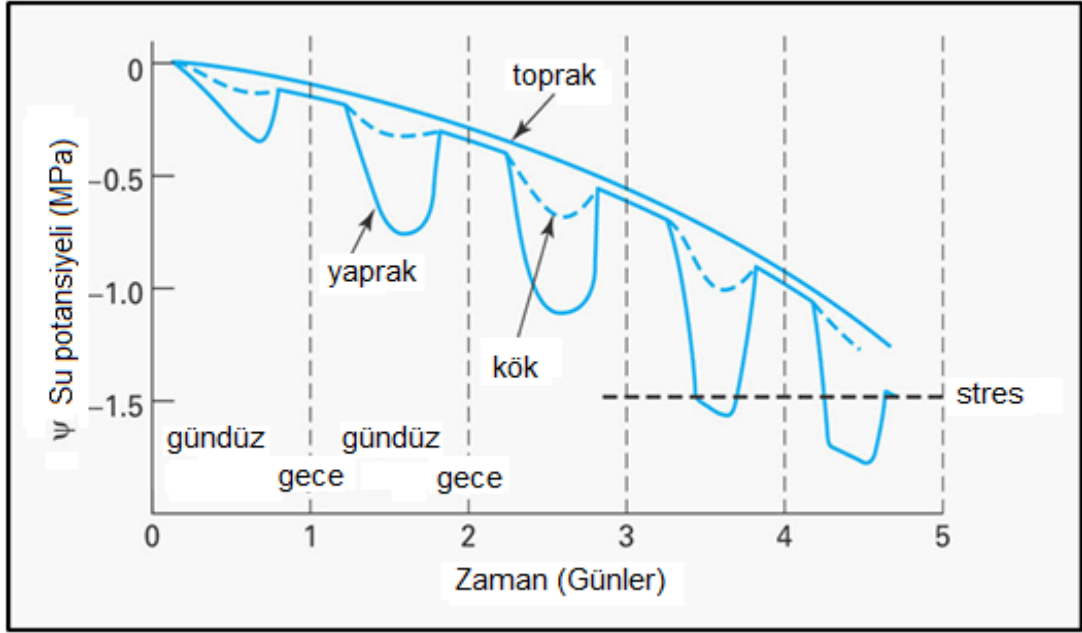


Şekil 2.7: Saf suda ve hücreye uygulanan basınç sonrası bitki su potansiyeli değerlerindeki değişim (Taiz ve Zeiger, 2008).

Şekilden de anlaşılacağı gibi, saf haldeki suda (A) bitki su potansiyeli değeri sıfırdır. Hücreye uygulan basınç sonrası ise (B) hücredeki suyun yarısı uzaklaşarak osmotik potansiyel iki kat artmıştır. Dolayısı ile su kaybına bağlı olarak turgor potansiyeli de (Ψ_p) azalmıştır. Yine sıkıştırılan hücrenin turgor ve osmotik potansiyellerinin değişmesinden sonra denge durumuna geldiğinde su potansiyelinin aynı olduğu görülmektedir.

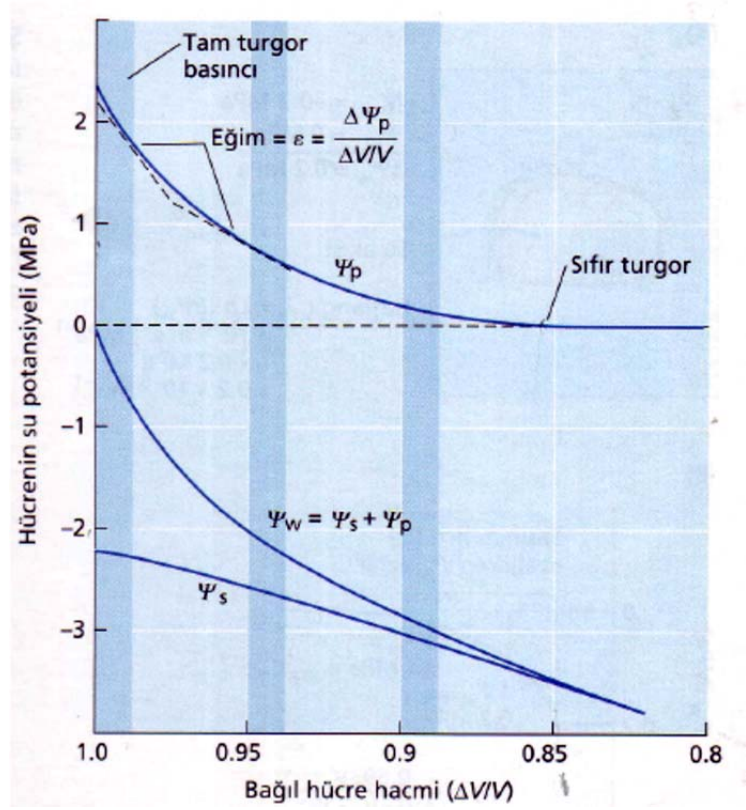
Şekil 2.7’de gösterilen örnekte hücre su potansiyelinde bir değişiklik olmaksızın hacmini değiştirmek için dıştan bir kuvvet uygulanmıştır. Doğada ise çevresel koşulların karşılıklı etkileşimi ile hücrenin içinde bulunduğu ortamın su potansiyeli

değeri devamlı olarak değişiklik gösterir ve bitki hücresi, su potansiyeli (Ψ_w), ortamındaki ile eşitleninceye kadar su kazanır veya kaybeder (Şekil 2.8). Su bitkilerde çoğunlukla daha yüksek su potansiyelli bölgelerden daha düşük su potansiyelli bölgelere doğru taşınır (Gonzales ve Roger, 2001; Taiz ve Zeiger, 2008).



Şekil 2.8: Bitki su potansiyelinin toprakta, kökte ve yapraktaki günlük değişimi (Walter, 2015).

Bitki hücreleri nisbeten sert hücre çeperleri ile kuşatıldığından, hücre hacmindeki küçük bir artış bile hücre içerisindeki hidrostatik basınçta büyük bir artışa neden olur. Hücreye su girdikçe hücrenin hidrostatik basıncı yada turgor basıncı Ψ_p artar. Buna bağlı olarak hücrenin su potansiyeli (Ψ_w) de artar ve dış bölge ile iç bölgenin su potansiyeli arasındaki fark azalır. Belirli bir noktadan sonra hücre tam doymun hale gelerek suyu alamaz olur ($\Psi_w = 0$) (Taiz ve Zeiger, 2008). Bitki su potansiyeli değerlerinin Höfler diyagramında gösterilişi Şekil 2.9'da verilmiştir.

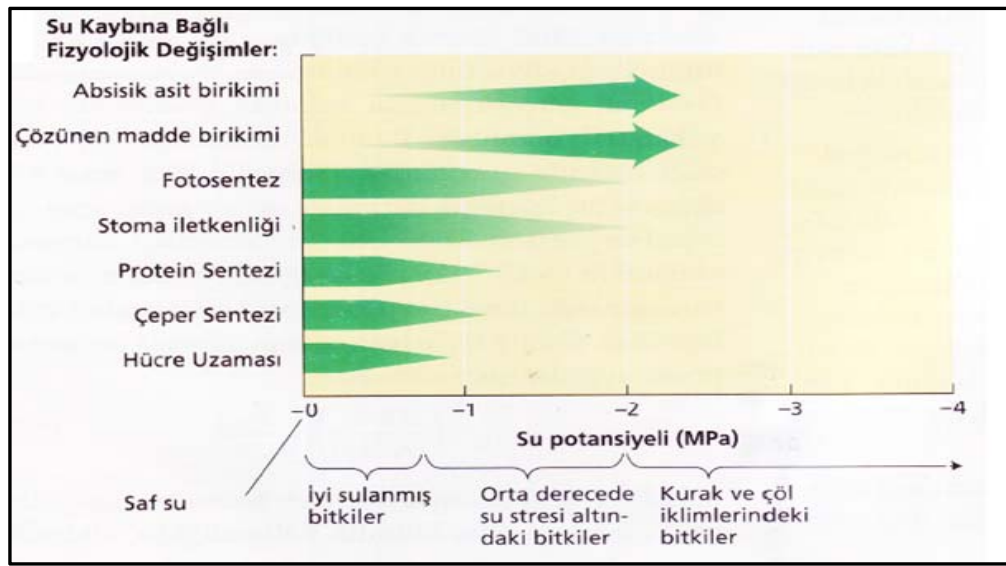


Şekil 2.9: Bitki su potansiyeli ve bileşenleri (Taiz ve Zeiger 2008).

Bitki su potansiyeli ve bileşenlerini gösteren Şekil 2.9'daki diyagramda, bitki tam doygun haldeyken su potansiyeli değeri sıfır ($\Psi_w=0$), turgor potansiyeli değeri de en üst seviyesindedir. Ayrıca bu durumda turgor potansiyeli ile osmotik potansiyel birbirine eşit değerdedir ($\Psi_p = -\Psi_\pi$). Bitki su kaybettiğinde hücrelerinin turgor potansiyeli de düşmekte, plazmoliz noktasında turgor potansiyeli sıfır olmaktadır. Bu noktadan itibaren bitkinin su potansiyeli osmotik potansiyele eşit olmaktadır (Kramer, 1983; Boyer, 1995; Gonzales ve Roger, 2001; Taiz ve Zeiger, 2008).

Turgor basıncı, hücreler nispeten fazla su içerdiklerinde sıfırdan büyük olur ($\Psi_p>0$). Çoğu hücrede Şekil 2.9'da görüldüğü gibi hücrenin hacmi %10 ila %15 oranında azalınca turgor basıncı sıfıra yaklaşır. Yine söz konusu şekil üzerinde E sembolü ile hücre elastikiyeti gösterilmektedir. Elastikiyet sabit olmayıp turgor basıncı azaldıkça düşer yani hücre elastikiyetini arttırarak daha fazla su kaybeder. E ve Ψ_p düşük olduğu zaman su potansiyelindeki değişiklikleri Ψ_π belirlemektedir (Taiz ve Zeiger, 2008). Hücre elastikiyetinin hesaplanması bir sonraki konuda ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

İyi sulanmış bitkiler genellikle yüksek ozmotik potansiyele sahip iken (-0.5 den -1.2 Mpa) örneğin halofit bitkiler (tuzcul ortamda yetişen) düşük bir ozmotik potansiyel değerine sahiptir (- 2.5 Mpa'dan düşük). Su ve tuz stresi altındaki bitkiler veya kurak iklim koşullarında hücre su potansiyeli azalan bitkiler, topraktan gerekli suyu alabilme ve transpirasyonla az su kaybetme yeteneğine sahiptirler (Gonzales ve Roger, 2001). Şekil 2.10'da bitki üzerinde su kaybına bağlı olarak fizyolojik değişimleri gösteren şema, Tablo 2.2'de ise farklı bitki tiplerinin yapraklarındaki karakteristik ozmotik potansiyel değerleri verilmiştir.



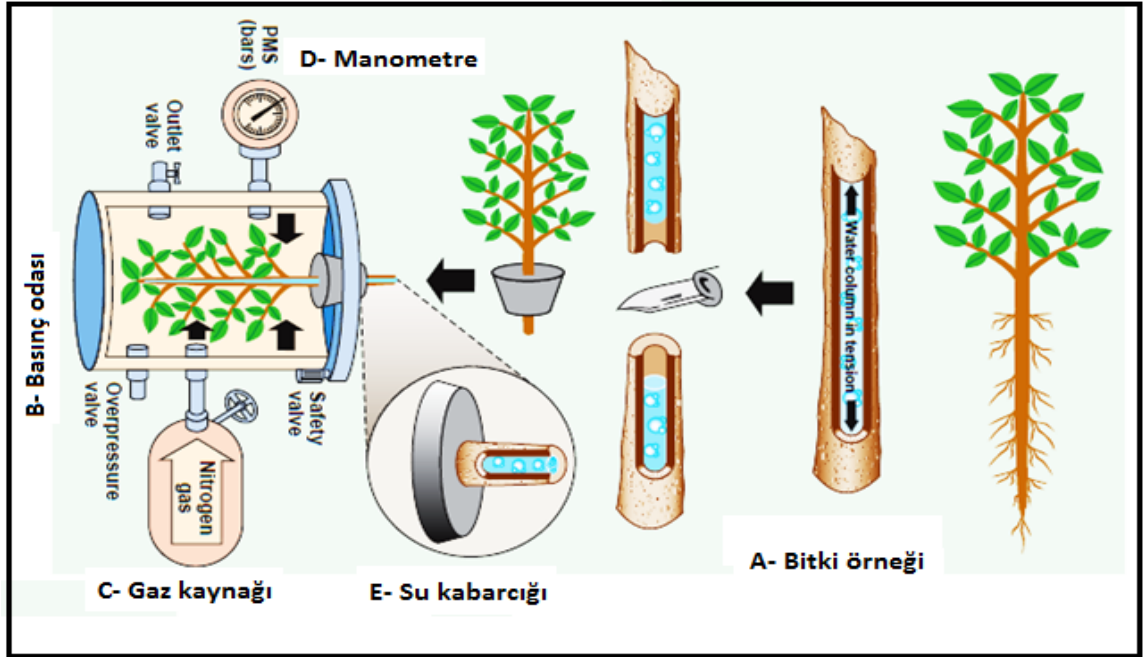
Şekil 2.10: Bitkide su kaybına bağlı fizyolojik değişimler (Taiz ve Zeiger, 2008).

Tablo 2.2: Farklı tipteki bitki yapraklarında karakteristik ozmotik potansiyel değerleri (Gonzales ve Roger, 2001).

Bitki Türü	Ozmotik potansiyel (MPa)	Ozmotik potansiyel (bar)
Halofit bitkiler (Tuzcul)	-3 ve -20 arası	-30 ve -200 arası
Yapraklı ağaçlar	-2 ve -5 arası	-20 ve -50 arası
İğne yapraklı ağaçlar	-1.5 ve -3.0 arası	-15 ve -30 arası
Çalılar	-1.4 ve -2.5 arası	-14 ve -25 arası
Otsu türler- kurak orman	-1.1 ve -3.0 arası	-11 ve -30 arası
Otsu türler- nemli orman	-0.6 ve -1.4 arası	-6 ve -14 arası
Otsu türler- alpin zon	-0.7 ve -1.7 arası	-7 ve -17 arası

2.4.2. Basınç-Hacim Eğrisi Yöntemi İle Bitki Su Potansiyeli Bileşenlerinin Belirlenmesi

Bilindiği gibi bitki su potansiyelinin ölçülmesinde birçok yöntem uygulanmakta olup bunlardan en yaygın ve güvenilir olanı basınç odası yöntemidir. Bu yöntemde uygulama Scholander ve diğ. (1965) tarafından geliştirilen basınç odası cihazı ile yapılmaktadır (Şekil 2.11). Cihaz, basınç odası içerisinde azot gazı bulunan tüp ve yardımcı ekipmanlardan oluşmaktadır. Su potansiyeli belirlenecek olan bitki (sürgün veya fidan) öncelikle yaprak ve ibre kısmı basınç odası içine gelecek, sap veya gövde kısmı da dışarı gelecek şekilde ters konumlu olarak cihaza yerleştirilir. Ardından yavaş yavaş azot gazının vanası açılarak cihaz içerisine azot girişi sağlanır. Bu arada cihaz üzerindeki manometrede basıncı gösteren ibre yükselmektedir. Bir süre sonra cihaza yerleştirilen bitkinin kesik ucundan su çıkmaya başlamaktadır. Su çıkışı başladığı anda gaz girişi durdurulmakta ve manometredeki basınç değerinin negatifi o andaki bitki örneğinin su potansiyeli olarak kaydedilmektedir (Scholander ve diğ., 1965; Kramer, 1983; Ritchie ve Shula, 1984; Colombo, 1987; Yahyaoğlu, 1987; Dirik 1991; Turner, 1998; Boyer, 1995; Çalıköğlü, 2002; Deligöz, 2007; Landis ve diğ., 2010; Bartlett ve diğ., 2012).



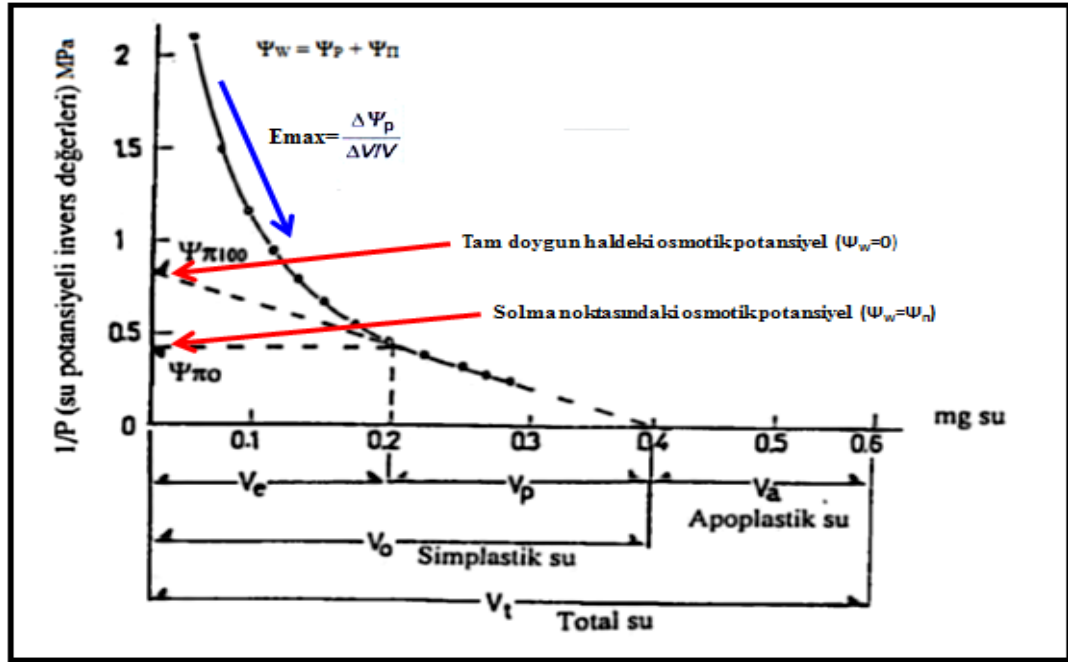
Şekil 2.11: Scholander basınç odası cihazının şematik görünümü (Landis ve diğ., 2010).

Basınç-Hacim (P-V) Eğrisi:

Bitki su potansiyelinin tek başına hesaplanması çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Çünkü bitkilerin içerdikleri su miktarlarının yararlı veya zararlı düzeyde olduğunun bilinmesi için kritik su düzeylerinin bilinmesi de gereklidir. Bu düzeyler ise basınç-hacim eğrisi yöntemi ile kolayca belirlenebilmektedir. Bitkilerin su potansiyeli ve bu su potansiyeli bileşenlerinin değişik niteliklerini ortaya koyan basınç hacim eğrileri özellikle bitki türlerinin kuraklığa ve dona karşı dayanıklılıklarının belirlenmesi, fidan kalitesinin ortaya konması gibi birçok ekofizyolojik araştırmada kullanılmaktadır (Tyree ve Hammel, 1972; Ritchie ve Shula, 1984; Schulte ve Hinckley, 1985; Bongarten ve Teskey, 1986; Colombo, 1987; Turner, 1988; Grossnickle, 1988; Schulte ve Henry, 1992; Colombo ve Teng, 1992; Genç, 1992; Parker ve Colombo, 1995; Fernandez ve diğ., 1999; Royo ve Pardos, 2001; Calamassi ve diğ., 2001; Dirik, 2000; Çalikoğlu, 2002; Semerci, 2006; Deligöz, 2007; Bartlett ve diğ., 2012; Zhang ve Zgeng, 2012).

Basınç-Hacim (P-V) eğrilerinin oluşturulması ve bu eğrilerin analizi için bitki örneklerine yine Scholander cihazı kullanılmakta ve belirli sürelerle değişik kademelerde basınç uygulanmaktadır. Her basınç kademesinde bitkinin çıkardığı su miktarı tespit edilmekte, daha sonra Basınç-Çıkan Su Miktarı (ağırlık veya hacim olarak) ilişkisi bir koordinat sistemine taşınarak, Basınç-Hacim (P-V) eğrisi meydana getirilmektedir. Koordinat sisteminin y eksenini, bitki örneğine uygulanan basıncın invers değerlerini, x eksenini ise her basınç kademesinde bitki örneğinden çıkan kümülatif su miktarını göstermektedir (Şekil 2.12).

Basınç hacim eğrisininide görüldüğü gibi (Şekil 2.12), tam doygun haldeki bir bitki örneğinin, kendisine uygulanan basıncın artışıyla çıkardığı su miktarı arasında başlangıçta eğrisel bir ilişki söz konusudur. Basıncın kademe kademe artışıyla bir noktadan sonra bu ilişki doğrusal bir seyir izlemektedir. Eğrinin doğruya dönüştüğü nokta, plazmolizin (solma noktasının) gerçekleştiği noktadır. Yani bu noktada, bitkinin hücreleri içerisindeki plazma, hücre çeperinden ayrılmaktadır. Hücreler bu durumdan sonra eski hallerine dönememektedir. Plazmoliz noktası bitkinin teorik ölüm sınırındır (Ritchie ve Shula, 1984; Turner, 1988; Dirik, 2000; Çalikoğlu, 2002).



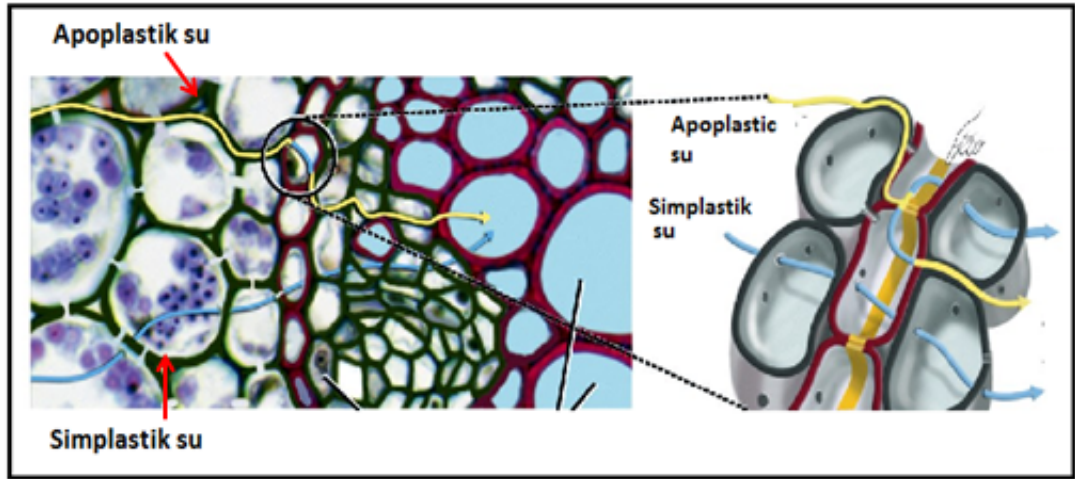
Şekil 2.12: Basınç-Hacim (P-V) eğrisi ve bu eğriden belirlenen parametrelerin şematik görünümü (Dirik,2000'den uyarlanmıştır).

Plazmoliz noktasından (solma noktası) sonra devam eden Basınç-Hacim eğrisinin doğrusal kısmı, y eksenine doğru ekstrapole edildiğinde (geriye doğru uzatıldığında), y eksenini bir noktada kesmektedir. Bu nokta, bitkinin tam doygun haldeki turgor basıncı değeridir. Yine plazmoliz noktasından bu defa x eksenine paralel olarak ters yönde bir doğru çizildiğinde bu doğrunun y eksenini kestiği nokta, bitkinin turgor basıncının sıfıra düştüğü plazmoliz anındaki su potansiyeli değerini vermektedir. Basınç-Hacim eğrisinin, x eksenini kestiği nokta ise bitki örneğinin sahip olduğu simplastik su miktarını (V_o) göstermektedir. Bitki örneğinin kurutulup tam kuru ağırlığı belirlendiğinde, tam doygun haldeki ağırlığı ile tam kuru ağırlığının farkı alınarak bitkinin sahip olduğu toplam su (V_t) miktarı belirlenmektedir. Toplam su ile simplastik su miktarının farkı da bitki örneğinin apoplastik su miktarına (V_a) karşılık gelmektedir (Ritchie ve Shula, 1984; Turner, 1988; Dirik, 2000; Çalikoğlu, 2002). Yine ilgili şekilde V_e , dokulardan solma noktasına ulaşmaya kadar preslenen su miktarını, V_p ise, solma noktasında dokularda kalan serbest su miktarını ifade etmektedir.

Solma noktasındaki oransal su içeriği (%) ise aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır,

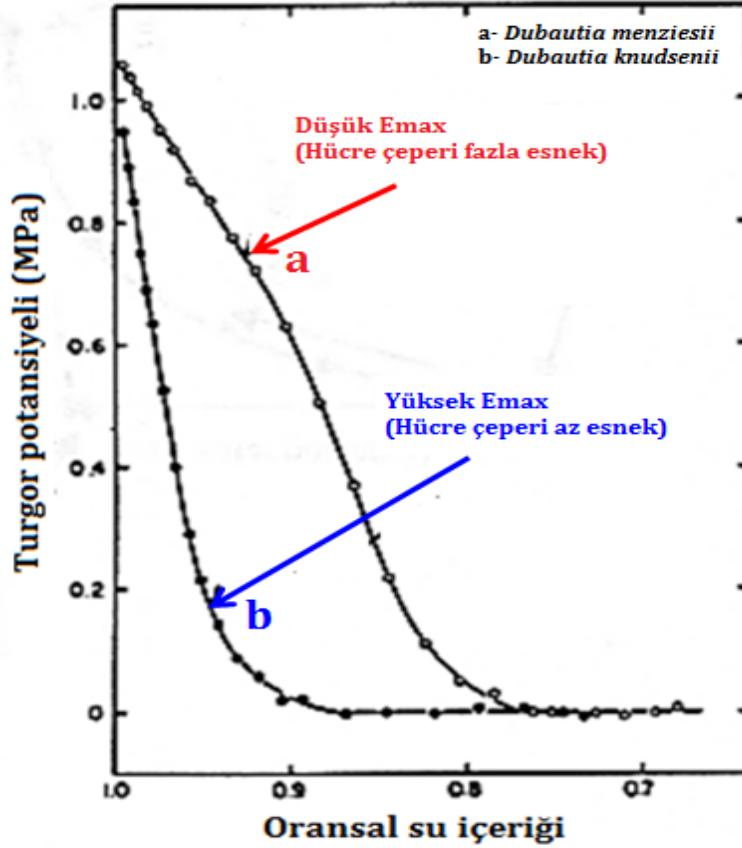
$$R_{WCz} = [(V_t - V_e) / V_t] * 100 \quad (2.3)$$

Bir bitkinin tam doymun halde sahip olduğu su miktarı, fizyolojik anlamda farklı nitelikteki kısımlardan oluşmaktadır. Bitki hücresinin içerisinde yani başlıca vakuollerde yer alan su, simplastik su olarak adlandırılmaktadır. Simplastik su sayesinde hücre plazması, hücre çeperine bir basınç uygulayabilmektedir (Turgor Basıncı). Bitkinin yaşamsal önemdeki bütün metabolizma faaliyetleri (hücre bölünmesi, solunum, fotosentez, protein sentezi vb.), hücre turgor basıncının belli bir sınırının üzerinde gerçekleşebilmektedir. Bu açıdan simplastik su miktarı ve bunun örneğin kuraklık etkisi ile kaybı, fizyolojik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bitki, simplastik nitelikteki suyun haricinde kalan suyu, başta ksilem olmak üzere çeşitli cansız kısımlarda tutmaktadır. Bu suya da apoplastik su adı verilmektedir (Dirik, 2000; Çalikoğlu 2002). Şekil 2.13’de simplastik ve apoplastik suyun kök ve hücre içerisindeki şematik görünümü verilmiştir (Muller, 2010).



Şekil 2.13: Apoplastik ve simplastik suyun hücre içerisindeki hareketinin şematik görünümü (Muller, 2010).

Basınç-Hacim eğrisinden tahmin edilen diğer önemli bir parametre ise hücre elastikiyet modülüdür. Elastik modül canlı ve cansız yapıların dış kuvvetlere karşı direncini veya elastikiyetini gösteren bir parametredir. Bir hücrenin elastik modülü yüksek olduğu oranda, o hücrenin çeperi daha az elastik olmakta ve bu tip hücreler arasında su geçişi daha yavaş gerçekleşmektedir (Şekil.2.14). Ayrıca bu hücrelerin çeperleri, su kayıplarına karşı daha dirençli olup daha güç deforme olmaktadır. Elastik modülü yüksek olan hücreler solma noktasında veya ona yakın bir noktada diğer hücrelere göre daha çok suyu bünyelerinde tutabilmektedirler (Colombo, 1987; Çalikoğlu, 2002; Larcher, 2003)



Şekil 2.14: Elastik modülün şematik olarak gösterimi (Robichaux ve diğ., 1986).

Hücre elastikiyeti, bitkinin kuraklığa karşı direncinin iyi bir göstergesidir. Elastik modül hücrenin simplastik suyunun bir birim (ağırlık veya hacim) azalmasına karşılık turgor potansiyelinin ne kadar azaldığını ifade etmektedir (Ritchie ve Shula, 1984; Colombo, 1987; Ranney ve diğ., 1991). Bitki örnekleri genelde en yüksek elastik modül (E_{max}) açısından karşılaştırılırlar. En yüksek elastik modül (E_{max}) bitkinin tam doygun halden (%100) ona çok yakın bir oransal su içeriğine (%95-97) gelmesine kadarki turgor potansiyeli farklarının simplastik su kaybı farklarına bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Ritchie ve Shula, 1984; Colombo, 1987; Grossnickle, 1992; Colombo ve Teng, 1992; Çalikoğlu, 2002). Bu açıklama aşağıda formüle edilmiştir.

$$E_{max} = \frac{\Psi_{P1} - \Psi_{P2}}{(V_1 - V_2) / V_0} \quad (2.4)$$

Formülde,

Ψ_{P1} : Oransal su içeriğinin (R_{CW}) %100 olduğu andaki turgor potansiyeli (bar)

Ψ_{P2} : Oransal su içeriğinin (R_{CW}) %95'e düştüğü andaki turgor potansiyeli (bar)

$V_0=V_1$: Oransal su içeriğinin (R_{CW}) %100 olduğu andaki simplastik su miktarı (gr)

V_2 : Oransal su içeriğinin (R_{CW}) %95 olduğu andaki simplastik su miktarını (gr),

ifade etmektedir.

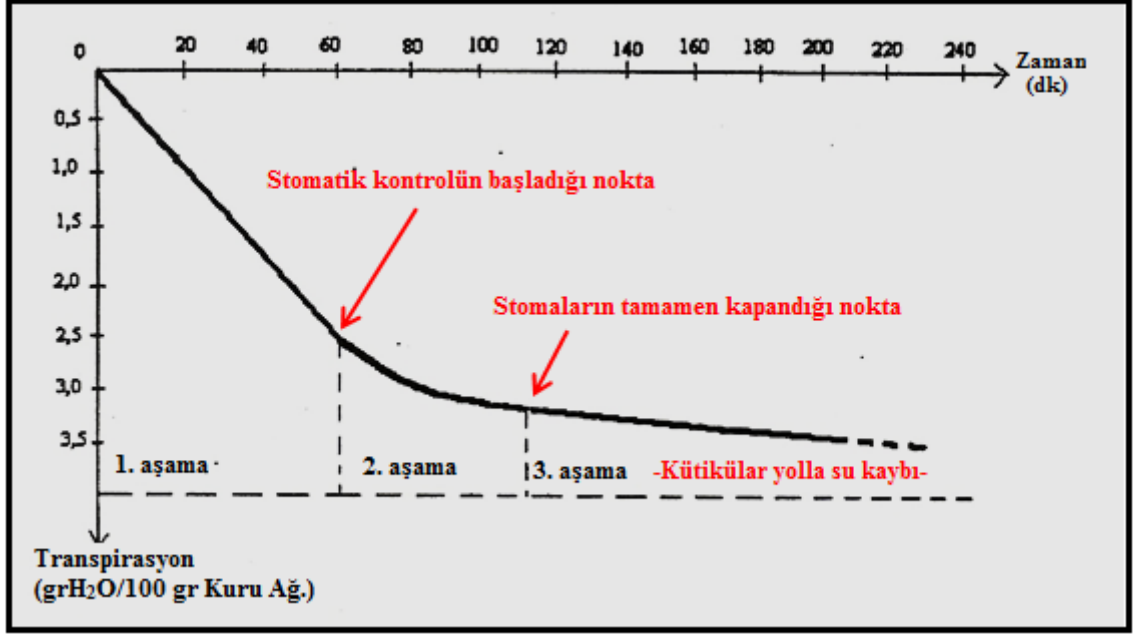
2.4.3. Transpirasyon Analizi Yöntemi

Bitkilerin kuraklığa karşı dayanıklılığın belirlenmesi için uygulanan diğer bir yöntem ise transpirasyon analizleridir. Yöntemde kesilmiş sürgün örnekleri ya da tam bir bitki örneği kontrollü koşullarda su kaybına maruz kılınarak, transpirasyon tutumları ve su potansiyeli değerleri belirlenmektedir. Ayrıca son yıllarda su kaybına maruz bırakılan bitkilerde fotosentez ölçümleri de yapılmaktadır (Jensen ve diğ., 1991; Dirik, 1994, Stowe ve diğ., 2001; Martin ve diğ., 2001; Çalikoğlu, 2002; Otieno ve diğ., 2005; Sinclair ve diğ., 2005; Otieno ve diğ., 2007).

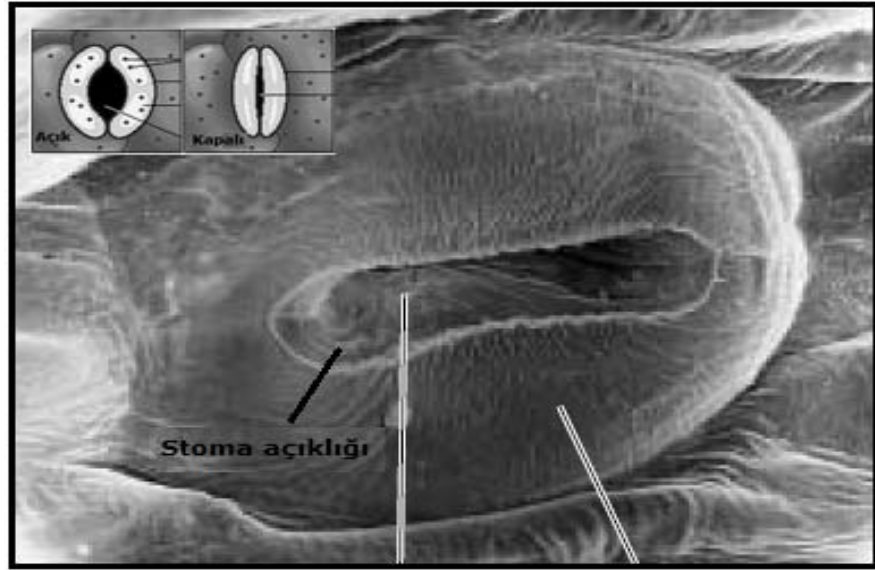
Yöntemde bitkiler ya da sürgün örnekleri kontrollü ortamlarda iklimlendirme kabinlerinde sıcaklık, nem ve ışık şiddeti ayarlanarak su kaybına maruz bırakılmaktadır. Belirli dönemlerde bitkilerde ağırlık ve su potansiyeli ölçümleri yapılarak transpirasyon tutumları belirlenmektedir. Ölçümler sonucu fizyolojik parametreler bitkinin zaman-birikimli transpirasyon ilişkisini gösteren eğrilerden elde edilerek yorumlanmaktadır (Şekil 2.15).

Aşağıda bir bitkinin zaman-birikimli transpirasyon ilişkisini gösteren Şekil 2.15'de görüldüğü gibi 3 aşama ayırt edilebilmektedir. Birinci aşamada, bitki önce zamanla doğru orantılı olarak hızlı bir şekilde su kaybetmektedir. Bitkinin hızlı su kaybını ifade eden doğru, belirli bir süre sonra eğriye dönmektedir. Bu dönüş noktası bitkinin su kayıplarına karşı fizyolojik bir düzenleme ve önlem olarak stomalarını kapatmaya başladığı yani stomatik kontrolün gerçekleştiği andır. Bunu transpirasyonun 2. Aşaması izlemektedir. Söz konusu bu aşamada bitki, yavaş yavaş transpirasyonla kaybettiği suyu azaltmakta ve stomaların açıklık düzeyini regüle etmektedir. Transpirasyonun zamana bağlı eğrisel artışı bir noktada tekrar doğrusal bir trend kazanmaktadır. Bu dönüşüm ise stomaların tamamen kapandığı transpirasyonun 3. aşamasıdır. Bu andan sonra bitki

sadece kütikula yoluyla su kaybetmektedir (3. aşama). Bu kaybediş, ilk iki aşamadakine göre oldukça yavaş ve yine ilk aşamadaki gibi doğrusal niteliktedir. Şekil 2.16'da ise bir bitki örneğine ait (soğan epidermisi) açık ve kapalı haldeki stoma halleri gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Bir bitkinin zamana bağlı olarak transpirasyonla su kaybının aşamaları (Çalikoğlu, 2002'den uyarlanmıştır).



Şekil 2.16: Bir bitki örneğine ait stoma açıklığı (Taiz ve Zeiger 2008).

2.5. ODUNSU BİTKİLERDE DONA DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİ

Bilindiği gibi soğuğa dayanıklılık doğada yavaş yavaş gelişen bir süreçtir. Bu işlev fotoperiyodun kısalması ile başlar sıcaklığın düşmesi ile devam eder. Meydana gelen düşük sıcaklıklar ile dona dayanıklı bitki türleri hayatta kalır. Don zararında bitkilerin içinde bulunduğu dönem, düşük sıcaklığın derecesi, düşme hızı ve süresi önem taşımaktadır. Doğadaki bu durum göz önünde bulundurularak odunsu bitkilerde dona dayanıklılık çalışmaları yürütülmektedir.

Dona dayanıklılık testleri; bitkilerin düşük sıcaklık derecelerine uyumluluğunu anlamak için fizyolojik, anatomik, termodinamik ve biyokimyasal özellikleri araştırılarak geliştirilmiştir. Bu metotlar la dona dayanıklılığı hızlı bir şekilde belirleyip doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Ormancılıkta özellikle ağaçlandırma çalışmalarının başarısını arttırmak için bu yöntemler kullanılmaktadır (Burr ve diğ., 2001).

Dona dayanıklılığın belirlenmesi; bir bitkinin bütününün veya bir dokusunun kontrollü ortamda çeşitli sıcaklık kademelerine maruz bırakılarak, bitkide meydana gelen zararın çeşitli yöntemlerle ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır (Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002). Dona dayanıklılık düzeyinin ölçülmesi için yapılan test, kontrollü bir ortama yerleştirilen bitkinin önce belirli bir hızda soğutulması, ulaşılan bu düşük sıcaklıkta bir süre bekletilmesi, sonra başlangıçtaki sıcaklığa kadar ısıtılması sonrasında meydana gelen zararın çeşitli yöntemlerle belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 2001; Hirondele ve diğ., 2006).

Dona dayanıklılığın belirlenmesindeki süreçler, aşağıda alt başlıklar halinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.5.1. Bitki Örneklerinin Düşük Sıcaklıklara Maruz Bırakılması

Dona dayanıklılık testlerinde çalışmaların amaç ve kapsamına göre bütün bir bitkiyi ya da bitkinin organ veya dokusu dondurularak değerlendirmeler yapılmaktadır. Örneğin genelde koniferlerde iğne yapraklar, geniş yapraklılarda ve herdem yeşil türlerde ise tomurcuklar kullanılmaktadır. Genellikle küçük yaşta bitkilerde ve özellikle fidanlarda, tüm bitki dondurularak testler yapılmaktadır (Colombo ve diğ., 1984; Burr ve diğ., 2001; Hirondele ve diğ., 2006).

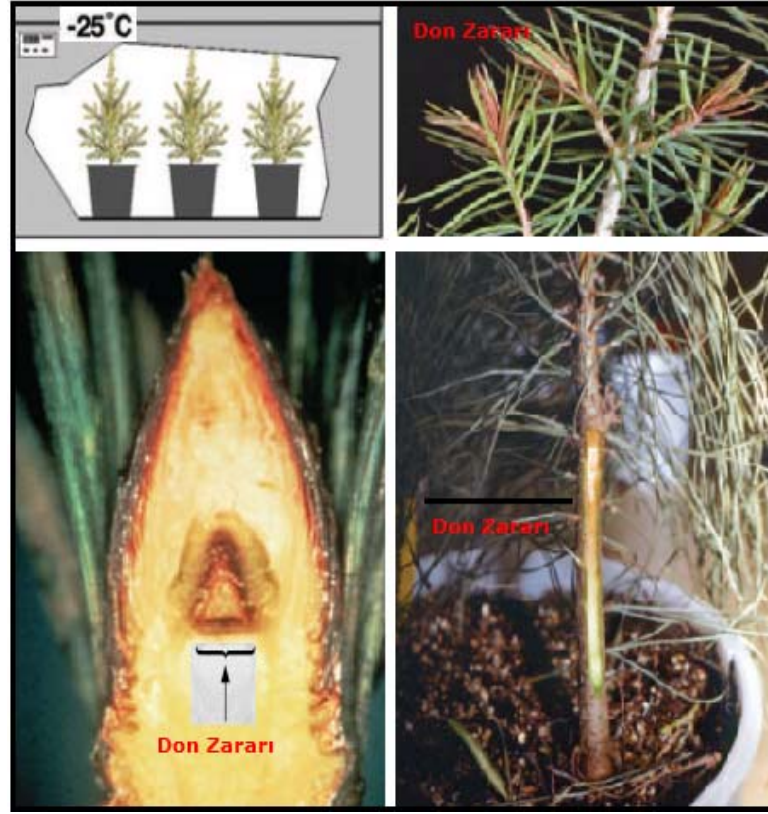
Bitkinin bir parçası kullanılarak yapılan test, kullanılan dokuların (iğne yaprak ya da tomurcuk) bir tüp veya poşet içerisine konarak dondurulması şeklinde olmaktadır. Genelde dokuların kurummasını önlemek ve buz kristallerinin oluşumuna yardımcı olmak için dokuların konulduğu tüp veya poşet içerisine az miktarda saf su ilavesi yapılmaktadır (Şekil 2.17). Söz konusu bu test soğutma kabini içerisine fazla miktarda örnek sığmasından dolayı avantajlıdır (Burr ve diğ., 2001; Semerci, 2005).



Şekil 2.17: Don testlerinde bitki dokularının kullanılması.

Tüm bitkiyi dondurma testleri ise bitkinin toprak üstünde kalan kısmının kontrollü ortamlarda dondurulmasını kapsamaktadır (Şekil 2.18). Donma sıcaklıkları homojen bir biçimde uygulandığında, bitkide doğal şartlar altında meydana gelebilecek olan düşük sıcaklık zararı tahmin edilebilmektedir (Colombo ve diğ., 1984; Ritchie, 1984; Burr, 1990; Ritchie, 1991; Tanaka ve diğ., 1997; Hironelle ve diğ., 2006). Bütün bir bitkinin dondurulmasının avantajı da entegre bir sistem olarak bitkinin bütünlüğü bozulmadan teste tabi tutulmasıdır. Böylece düşük sıcaklık derecelerinde bitki doğadaki gibi bir takım metabolizma faaliyetine devam edebilmektedir (Burr ve diğ., 2001).

Dondurulacak bitkiler 4 °C de en az 1-2 gün bekletilerek soğuğa uyumları sağlanır. Ayrıca fidanlar testten önce, orta köklerin ısı kapasitesini arttırmak ve donmadan sonra bitki su açığını minimize etmek için yeterli düzeyde sulanırlar (Burr ve diğ., 2001).



Şekil 2.18: Tüm bitkiyi dondurma testi (Landis ve diğ., 2010).

Tüm bitki testlerinde, kapları ile beraber donma kabineye yerleştirilen fidanların kökleri vermikulit, perlit, turba vb. materyal ile izole edilmelidir. Çünkü kök bölgesinin dona dayanıklılığı genellikle bitkinin toprak üstü kısmından (sürgün) daha azdır ve kök sistemleri ile birlikte zarar gören ve büyüme potansiyeli azalan fidanlar dona dayanıklılık test sonuçlarını etkilemektedir (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 1990; Coleman ve diğ., 1992; Bigras, 1997; Bigras, 1998; Burr ve diğ., 2001; Hirondelle ve diğ., 2006).

Geçmiş yıllarda tüm bitkiyi dondurma testleri için biyolojiksel dondurucular, ev tipi dondurucular ve dondurma havuzları kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde soğutma işlemleri tam otomatik ve programlanabilen iklim odaları ve soğutucu kabinlerde yapılmaktadır (Burr et. al., 2001).

Dona dayanıklılık testinde bitkinin ya da bitki parçasının dondurulacağı hedef sıcaklıklar bir ya da birden çok kademedan oluşur. Genelde üç ile altı sıcaklık kademesinden oluşması tavsiye edilmektedir. Örneğin; -10, -20, -30, -40 °C gibi sıcaklık dereceleri kullanılabilir (Ritchie, 1984; Burr, 1990; Semerci, 2005).

Bitkilere uygulanan don testleri karanlıkta veya düşük ışık şiddetinde yapılmalıdır. Çünkü bitkilere karanlıkta düşük sıcaklık uygulandığında oluşan zarar, ışık altındaki uygulamadan daha az olmaktadır (Burr ve diğ., 2001).

2.5.2. Sıcaklığın Düşürülme Hızı, Bekleme Süresi ve Yükseltilmesi

Dona dayanıklılık testi uygulanırken; hedeflenen düşük sıcaklığa ulaşma hızı ve derecesi, bu hedef sıcaklıkta bekletme süresi ve tekrar çözülmesi için sıcaklığın yükseltilme hızı gibi test koşulları bitkinin dona dayanıklılığını ve dolayısı ile test sonuçlarını etkilemektedir. Bu yüzden doğaya en uygun olacak şekilde test koşullarının tespit edilmesi gerekmektedir (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 1990; Burr ve diğ., 2001; Larcher, 2003).

Don testlerinde hızlı sıcaklık düşüşü, buz kristallerinin oluşabilmesi ve hücreler arasındaki suyun donması için gerekli süreyi sağlamayabilir. Bu nedenlerden dolayı araştırmalarda çok hızlı sıcaklık düşüşlerinden kaçınılmalıdır (Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002). Yapılan çalışmalar neticesinde, hedeflenen sıcaklık kademesine ulaşmak için soğutucu kabinlere yerleştirilen bitkilere genellikle saatte 2-6 $^{\circ}\text{C}/\text{h}^{-1}$ lik bir sıcaklık düşüş hızının kullanılması gerektiği kabul edilmektedir (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 1990; Coleman ve diğ., 1992; Simpson 1994; Hawkins ve diğ., 1996; Tanaka ve diğ., 1997; Bigras, 1998; Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002; Semerci, 2005; Hirondelle ve diğ., 2006).

Yukarıda belirtilen sıcaklık hızı düşüşleri ile hedeflenen düşük sıcaklık derecesine ulaştıktan sonra önemli olan bir nokta da bitkilerin bu sıcaklık kademesinde ne kadar süre ile tutulacağıdır. Düşük sıcaklıkta bekletme süresi en az bitki örnekleri ile bunların etrafını saran ortamın sıcaklıkları arasında termodinamik eşitlik sağlanıncaya dek geçen süre kadar olmalıdır (Linden, 2002). Bekleme süresinin artışı, bitkide oluşan zararın miktarını da arttırmaktadır (Ritchie, 1984; Linden, 2002).

Düşük sıcaklıkta bekletme süresi hakkında değişik görüşler hakimdir. Örneğin Glerum (1985), düşük sıcaklıkta bekleme süresinin 1-3 saat, Burr. ve diğ., (2001), 4-6 saat olması gerektiğini bildirmişlerdir. Ayrıca bu görüşlerin aksine düşük sıcaklıkta bekletme süresinin 24 saat ve üzerinde olması gerektiği de bildirilmektedir (Linden, 2002).

Düşük sıcaklıkta bekletme süresinden sonra don testlerinde üçüncü ve son aşama ise dondurulan bitki örneklerinin başlangıçtaki sıcaklıklarına döndürülme hızı ve süresidir. Yine bu konuda genel görüşler sıcaklığın düşürülme hızı ile aynı olması, yani saatte 2-6 $^{\circ}\text{C}/\text{h}^{-1}$ lik bir sıcaklık artışının olması gerektiğidir (Tanaka ve diğ., 1997; Burr ve diğ., 2001; Semerci, 2005).

2.5.3. Düşük Sıcaklıklar Sonrası Bitkide Meydana Gelen Zararın Belirlenmesi

Bitkiler soğutucu kabinlerde düşük sıcaklık derecelerine maruz bırakıldıktan sonra, bitkilerde oluşan zararın ölçülmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden iyon sızıntısı, klorofil floresans ve görsel değerlendirme yöntemleri araştırmacılar tarafından en yaygın kullanılan yöntemlerdir (Ritchie, 1984; Tanaka ve diğ., 1997; Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002; Hirondelle ve diğ., 2006).

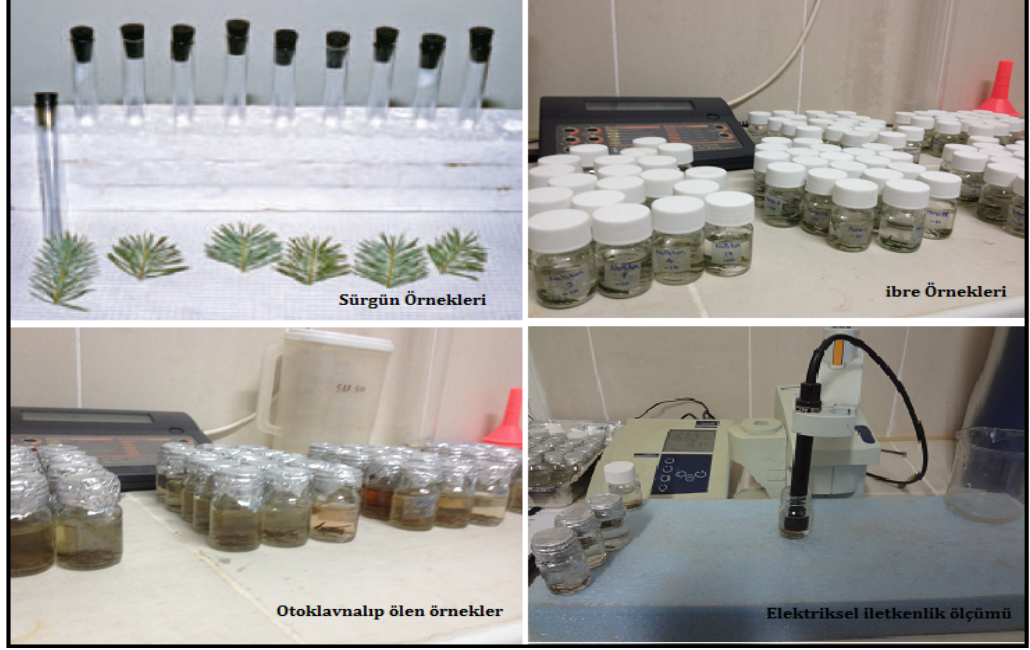
2.5.3.1 İyon Sızıntısı Yöntemi

İyon sızıntısı yöntemi, bitki fizyolojisi çalışmalarında ilk olarak 1932 yılında kullanılmıştır. Günümüzde ise don testlerinde bitkide meydana gelen zararın belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 1990; Grossnickle, 1992; Sutinen ve diğ., 1992; Coleman ve diğ., 1992; Simpson 1994; Hawkins ve diğ., 1996; Bigras, 1998; Semerci, 2005; Hirondelle ve diğ., 2006). Ayrıca ağaç türlerinde hava kirliliği ve yüksek sıcaklık gibi diğer stres etmenlerinden kaynaklanan zararın belirlenmesi için de kullanılmaktadır.

Dondan zarar gören bitki hücrelerinin membranları (zarları), seçici geçirgen özelliğini kaybeder. Bu özelliği kaybeden hücrelerin içerisindeki iyonlar hücre dışına çıkar. Hücre dışına çıkan bu iyonların ölçülmesi ile bitkide oluşan don zararı miktarı hızlı ve doğru olarak bu yöntem ile hesaplanabilir (Burr ve diğ., 1990; Burr ve diğ., 2001; Hirondelle ve diğ., 2006; Landis ve diğ., 2010).

Yöntem ile uygulanan düşük sıcaklık derecesinden sonra, dondurulan bitkilerden kesilerek parçalar alınır (Şekil 2.19) (iğne yaprak, sürgün veya tomurcuk) ve diyonize suya konularak 20-24 saat bekletilir (Burr ve diğ., 2001; Hirondelle ve diğ., 2006). Bekletme süresi boyunca örnekler sallanabilir. Bekletme ve sallamadaki bitkide zarar gören iyonların diyonize suya geçmesini sağlamaktır. Bekletme sonrasında başlangıçtaki elektriksel iletkenlik miktarı ölçülür. Bu ölçümünün ardından örnekler

otoklavlanır veya kaynatılır. Böylece hücredeki tüm membranların ölmesi ve kalan iyonların da hücre dışına çıkması sağlanır. 20-24 saatlik tekrar bir beklemeden sonra son elektriksel iletkenlik ölçümü yapılır. (Sutinen ve diğ., 1992; Burr ve diğ., 2001; Semerci, 2005).



Şekil 2.19: İyon sızıntısı yönteminin uygulanışı

Dondan oluşan zarar genellikle Relatif iletkenlik (RC) olarak ifade edilmektedir. Relatif iletkenliğin artması, zarar miktarı artışının göstergesidir. RC aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$RC = \frac{\text{Başlangıçtaki iletkenlik}}{\text{Son iletkenlik}} \times 100 \quad (2.5)$$

Formülde;

Başlangıçtaki iletkenlik: Don testinden sonra örneklerdeki elektriksel iletkenlik ölçümlerini,

Son iletkenlik: Örneklerin otoklavlandıktan sonraki elektriksel iletkenlik değerlerini ifade etmektedir.

2.5.3.2 Klorofil Floresans Yöntemi

Bilindiği gibi bitkilerin gelişimini ve büyümesini olumsuz yönde etkileyen çevresel stres koşulları, fotosentez üzerinde de olumsuz etki meydana getirmektedir. Klorofil floresans yöntemi (CF), fotosentez çalışmaları için etkin bir tercih olup bitki performansı ve sağlığı, stres, donma, sıcaklık, tuzluluk, besin yetersizliği ve herbisitlerin bitkiler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde ve ortaya konmasında kullanılan bir yöntemdir (Kooten ve Snel, 1990; Maxwell ve Johnson, 2000; Burr et.al., 2001; Roger ve Weiss, 2001; Ritchie, 2006; Yahyaoğlu ve Genç, 2007; Landis ve diğ., 2010).

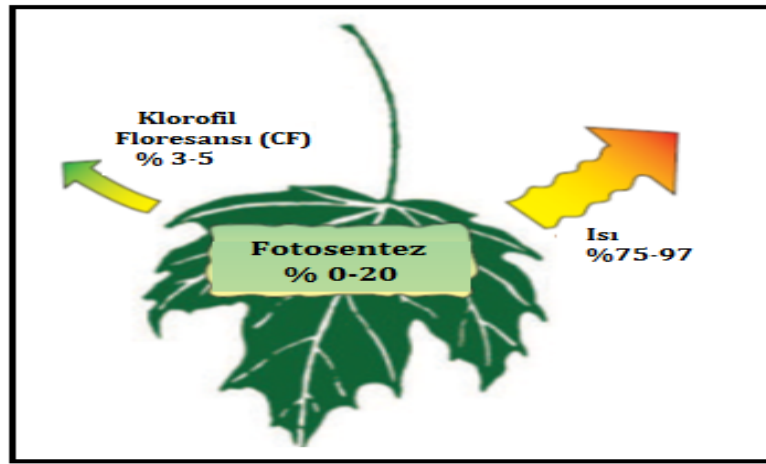
Hızlı, pratik ve güvenilir bir teknik olan CF yöntemi, özellikle don zararının belirlenmesinde uzun zamandır araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Burr ve diğ., 2001; Rizza ve diğ., 2001; Hawkins ve diğ., 2003; Kocheva ve diğ., 2004; Beck ve diğ., 2004; Semerci, 2005; Hironelle ve diğ., 2006; Pina ve diğ., 2008; Ehlert ve Hinch, 2008).

Klorofil floresansı yöntemi (CF), ilk defa 1920'li yılların sonunda Alman bilim adamı Hans Kautsky tarafından gözlemlenmiş ve ölçülmüştür. CF testi, floresans soğutma sistemi (Flss) ile yapraktan uzaklaştırılan ışık miktarının ölçümüne dayanmaktadır. CF ölçümlerinde öncelikle örneklenen yapraklar veya iğne yapraklar belirli bir süre karanlığa adapte edildikten sonra ışıklı bir ortamda klorofil metre cihazları ile ölçümler yapılır.

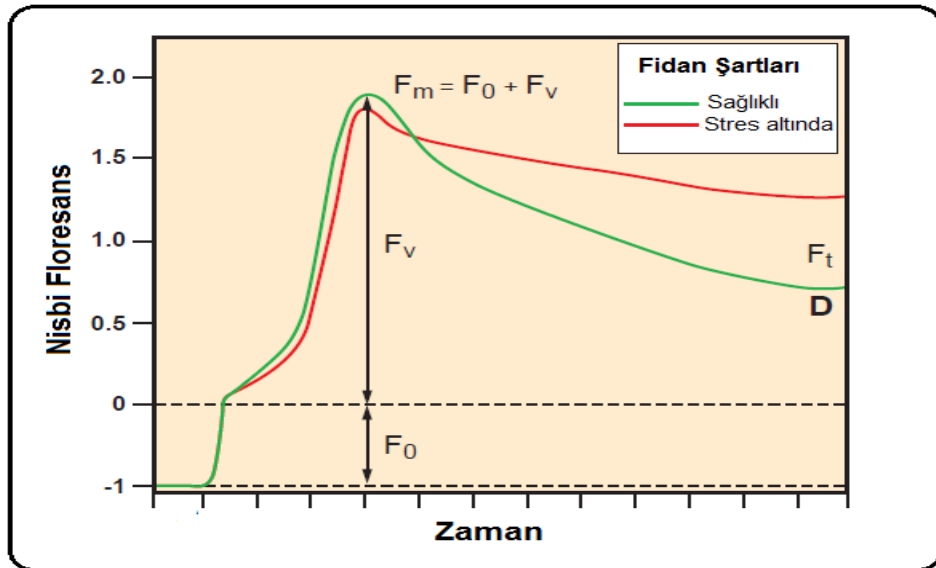
Yaprak yüzeyine güneşten ulaşan görünür dalga boyundaki (400-700 nm) ışığın yaklaşık %48-98'i yaprak tarafından emilir. Emilen ışığın da yaklaşık %20'si ya da daha azı fotosentezde kullanılır. Bunun da %75-97'si ısı olarak kaybolur ve %3-5'i kırmızı ışık dalga boyunda havaya yayılır (Şekil 2.20) (Burr et.al., 2001; Landis ve diğ., 2010). Işık yayılma olayına Klorofil floresansı denir. CF yöntemi tilakoid¹ membranlarındaki Fotosistem II'de (PSII) elektron akışındaki değişiklikleri ortaya koyarak, stres durumunda fotosentez miktarını belirler (Burr ve diğ., 2001; Ritchie, 2006; Çiçek ve Çakırlar, 2006).

¹ Kloroplastın içinde "tilakoid" adı verilen yassılaştırmış çuval şeklinde yapılar vardır. Bunlar fotosentezin kimyevi birimleri olan klorofilleri muhafaza eder ve daha ince zarlarla korunurlar.

Karanlıkta tutulan yapraklarda, fotokimyasal reaksiyonlar olmaz. Bu seviyede, okside durumdaki PSII'nin reaksiyon merkezindeki tüm klorofiller ve elektron taşıyıcıları foton almak için açıktır. Karanlıkta yapılan CF ölçümlerinde klorofil a'nın eksitasyon enerjisi yayılımı en yüksek düzeyde olup, Kautsky Eğrisi'nde (Şekil 2.21) maksimum floresansı (F_m) verir. Ölçümlerden elde edilen aktif haldeki minimum floresans ise F_0 ile ifade edilmektedir. Yine bu eğride F_v ($F_v = F_m - F_0$) ise değişken floresans yayılımını vermektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Roger ve Weiss, 2001; Ritchie, 2006; Landis ve diğ., 2010).



Şekil 2.20: Yaprğa gelen ışınların dağılımı (Landis ve diğ., 2010).



Şekil 2.21: Kautsky klorofil floresansı eğrisine ait bir örnek (Landis ve diğ., 2010).

Klorofil floresans (CF) ölçümlerinde stres koşulları altındaki bitkilerde fotosentetik aktivitenin belirlenmesinde kullanılan ve fotosentetik verimliliği ortaya koyan en önemli parametre F_v/F_m oranıdır. Bu oran PSII de emilen ışığın maksimum verimidir ve normal koşullar altındaki bitkide $0,832 \pm 0,004$ olarak ölçüldüğü ve bu değer stres koşullarında azaldığı bildirilmektedir (Roger ve Weiss, 2001; Semerci, 2005; Ritchie, 2006; Çiçek ve Çakırlar, 2006; Landis ve diğ., 2010). Maxwell ve Johnson, (2000) sağlıklı bitkilerde bu oranın 0.790-0.840 arasında olduğunu ifade etmektedir. Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır. Ölçümler sırasında klorofil florometre cihazları bu parametreyi otomatik olarak hesaplamaktadır.

$$F_v/F_m = [(F_m - F_0) / F_m] \quad (2.6)$$

Yine minimum floresans (F_0) çevresel stres faktörlerinden etkilenmektedir. Bu durum PSII deki pigment oranlarının değişmesine neden olur. Stres faktörünün artmasıyla F_0 değeri ani bir şekilde artar (Roger ve Weiss, 2001; Burr ve diğ., 2001; Maxwell ve Johnson, 2000).

Maksimum floresans değeri (F_m) ise stres koşulları altında zararın başladığı sıcaklık derecesine kadar genellikle azalır. Zarar veren sıcaklık kademelerinde ise düşüş göstermez (Roger ve Weiss, 2001). CF ölçümlerinde F_v/F_m katsayısı değiştiğinde F_0 oranı genellikle F_m değerinden ayrı olarak artmaktadır (Roger ve Weiss, 2001).

Don stresinden sonra kullanılan bütün bitki ya da bitki parçalarının karşılaştığı ışık miktarı çok önemlidir ve testlerden hemen sonra kullanılan örnekler sabit ışık ve sıcaklık şartlarında tutulmalıdır. Işık tilakoid membranlardaki don zararının hızlanmasına neden olabilir. Bu nedenle soğutucu kabinden çıkartılan bitkilere ait örnekler ışık şiddeti yoğunluğu yaklaşık $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ise 1-2 saat, eğer ışık yoğunluğu daha düşük örneğin $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ise 4-6 saat süre ile bu ışık şiddetine tabi tutulmalıdır. Işığa uyum sürecinden sonra ise bitki örneklerinin 15-30 dakika karanlığa uyumu sağlanmalıdır ($5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ den daha az). Karanlığa uyumun sağlanması ile son olarak klorofil floresans ölçümleri yapılır (Şekil 2.22). Ölçümler ile yukarıda bahsedilen parametrelerin değerlendirilmesi yapılarak bitkiler üzerindeki zarar belirlenir. (Maxwell

ve Johnson, 2000; Burr et.al., 2001; Roger ve Weiss, 2001; Linden, 2002; Semerci, 2005; Ritchie, 2006; Landis ve diğ., 2010).



Şekil 2.22: Farklı model klorofil florometre cihazları ile a- doğa şartlarında b-laboratuvarda test sonrası klorofil floresans ölçümü

2.5.3.3 Görsel Değerlendirme Yöntemi

Gerçekleştirilen don testleri ile bitkiler üzerinde gerekli ölçümler yapıldıktan sonra, görsel değerlendirme yöntemi ile de oluşan hasar miktarı saptanır. Düşük sıcaklık kademesine maruz bırakılan bitkilerde ya da bitki parçalarında (doku, iğne yaprak, tomurcuk) sıcaklık derecesinin kademesine bağlı olarak zarar gözle görülüp ayırt edilebilmektedir (Şekil 2.23). Genelde dondan zarar gören dokularda polifenol oksidasyonu nedeniyle, kahverengi veya sarımsı renk oluşumu görülür (Linden, 2002; Semerci, 2005). Don zararının diğer bir görsel belirtisi ise dokulardaki yumuşak ve sulu görünümüdür.



Şekil 2.23: Don zararı sonrası bitkilerde meydana gelen renk değişimi.

Görsel değerlendirme yönteminde, don zararının tahmin edilebilmesi için bitkiler optimale yakın yetiştirme koşullarında, sera ya da iklimlendirme kabinlerinde 7-10 gün arasında bekletilerek gözetim altında tutulurlar. Bekleme süresi boyunca mevsimine göre bitkiye gerekli bakım işlemleri sağlanır (sulama gibi). Bekleme süresi sonrasında fidanlarda oluşan zarar sonrası oluşan renk değişimi miktarına ve fidanların genel görüşüne göre tespit edilir. Belirtildiği üzere don zararı sonrası bitkilerde yavaş yavaş kahverengi renk oluşumu gözlenirken zarar görmeyen organlar ise yeşil ya da önceki renginde kalır. Zarar miktarı tespit edilirken belirli aralıkları kapsayan (0-5) rakamlar kullanılarak indeks değerleri oluşturulur. Örneğin 0 değeri zarar belirtisi olmayan, 3 yarı miktarda zarar görmüş, 5 tamamen zarar görmüş gibi (Ritchie, 1984; Tinus, 1987; Burr ve diğ., 1990; Sutinen ve diğ., 1992; Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002; Semerci, 2005).

Görsel değerlendirme yöntemi basit ve hızlı bir yöntem olup herhangi bir cihaz ya da aparat gerektirmez. Fakat renk değişimine göre yapılan değerlendirmeler subjektif olabilir ve kişiden kişiye göre değişir. Yine zarar miktarının belirlenmesinde renk değişimleri için uzun süre beklenmesi bu yöntemin diğer bir dezavantajıdır (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 2001; Semerci, 2005).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

Bu çalışma, 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 Anadolu Karaçamı orijiniyle temsil edilen tüplü fidanlar üzerinde yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan orijinlerin seçiminden, araştırmaya tabi tutulacak fidanların yetiştirilmesine kadar yapılan işlemler aşağıda sırası ile alt başlıklar halinde verilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Çalışmanın aşamalarını gösteren şema.

3.1.1. Orijinlerin Seçimi ve Biyoiklim Zonlarının Belirlenmesi

Araştırmaya konu olan orijinlerin seçiminde Anadolu Karaçamının Türkiye'deki doğal yayılışını temsil etmeleri esas alınmış, ayrıca son yıllarda ülkemizde Karaçamla yapılan ağaçlandırma çalışmalarının yoğun olarak yapıldığı İç Anadolu Bölgesini kapsayan orijinlerin seçilmesi göz önünde tutulmuştur. Bu amaçla farklı yöre ve yükseltilerde 46 adet alan belirlenmiştir. Alanlara ait gerekli bilgi, harita ve diğer dokümanlara, Orman Genel Müdürlüğü-Orman İdaresi ve Planlama Dairesinden Amenajman Planlarına ulaşılarak temin edilmiştir.

Orijinlerin dağılımını anlamlı ve kabul edilebilir bir ekolojik temele oturtabilmek amacıyla söz konusu 46 orijinin Emberger Biyoiklim sınıflandırma yöntemine göre Biyoiklim zonları belirlenmiştir (Akman, 1999). Bu belirlemede orijinlere en yakın yerdeki meteoroloji istasyonu verileri kullanılmıştır. Tüm iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (Ankara)'den temin edilmiştir.

Yapılan genel değerlendirme sonunda, 46 adet alan içerisinde 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 Anadolu Karaçamı orijininde çalışılmasına karar verilmiştir (Şekil 3.2). Orijinlerin seçiminde yörelerin farklı biyoiklim kuşaklarını temsil etmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca meteoroloji istasyonlarının yükseltisine yakın yükselti basamaklarından tohum toplanabilecek doğal meşcerelerin seçilmesi de göz önünde tutulmuştur.



Şekil 3.2: Araştırmaya konu olan Anadolu Karaçamı orijinlerinin haritası.

Belirlenmiş olan orijinlerden tohum temin etmek amacıyla orijinlere ulaşım sırasına göre arazi çalışması planlanmıştır. Arazi çalışmalarına başlamadan önce Orman Genel Müdürlüğü'nün merkez ve taşra teşkilatlarıyla koordinasyon sağlanarak çalışmalar için araç, işçi ve diğer bazı konularda destek sağlanmıştır. Söz konusu orijinlere ait bilgiler Tablo 3.1'de, orijinlerin Emberger yöntemine göre iklim sınıflandırmaları ise Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Anadolu Karaçamı orijinlerine ait bilgiler.

No	Orijini	Bölge Müdürlüğü	İli	İşletmesi-Şefliği	Yükselti (m)
1	Kargı	Amasya	Çorum	Kargı-Erenlerköş	1400
2	Çerkeş	Ankara	Çankırı	Çerkeş-İsmetpaşa	1250
3	Dirgine	Zonguldak	Zonguldak	Dirgine-Dirgine	450
4	Kızılcahamam	Ankara	Ankara	K.hamam-K.hamam	1100
5	Nallıhan	Ankara	Ankara	Nallıhan-Merkez	1000
6	Karaman	Konya	Karaman	Konya-Karaman	1350
7	Yozgat	Amasya	Yozgat	Yozgat-Yozgat	1480

Tablo 3.2: Anadolu Karaçamı orijinlerinin Emberger Biyoiklim Sınıflandırmasına göre iklim karakteristikleri (Akman, 1999).

No	Orijin	En Yakın İstasyon	İstasyon Yük. (m)	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q	PE (mm)	S	Biyoiklim Zonu
1	Kargı	Tosya	870	475,5	28,1	-2,7	54,0	100,7	3,6	<i>Yarı kurak- Soğuk</i>
2	Çerkeş	Çerkeş	1126	397,8	26,4	-7,1	42,0	96,1	3,6	<i>Yarı kurak- Son derece soğuk</i>
3	Dirgine	Devrek	100	662,5	29,8	1,8	81,8	143,1	4,8	<i>Az Yağışlı- Serin</i>
4	K.Hamam	K.Hamam	1033	565,6	28,2	-4,8	60,1	84,4	3,0	<i>Yarı kurak- Çok soğuk</i>
5	Nallıhan	Nallıhan	650	299,1	31,4	-2,7	30,5	35,8	1,1	<i>Kurak- Soğuk</i>
6	Karaman	Karaman	1025	332,1	31,1	-4,1	32,9	33	1,1	<i>Yarı kurak- Çok soğuk</i>
7	Yozgat	Yozgat	1298	602,6	26,5	-5,5	66,4	66,7	2,5	<i>Az yağışlı- Çok soğuk</i>

P (mm): Yıllık ort. yağış, M (°C): En sıcak ayın mak. Sıcaklık ort., m (°C): En soğuk ayın min. Sıcaklık ort., Q: Yağış-sıcaklık katsayısı, PE (mm): Yaz ayları (6.,7. ve 8. aylar) yağış ort., S: Yaz kuraklık indisi

Emberger Biyoiklim Metodu; Emberger prensiplerine göre Akdeniz iklimi; fotoperiodizmi günlük ve mevsimlik olan, yağışları soğuk veya nispeten soğuk olan mevsimlere toplanmış, kurak mevsimi yaz olan ve bu yaz kuraklığı maksimum bir yaz sıcaklığı ile uyuşan tropikal dışı bir iklimdir. Çoğu kez belirgin fakat daima mevcut olan bir kurak devrenin bulunması ve bu devrede yüksek sıcaklıkla birlikte görülen çok az miktardaki yaz yağışları vejetasyon açısından bu iklimin en göze çarpan özelliğidir. Söz konusu bu kurak mevsimin süresinin ve yaz yağışı miktarının bilinmesi ekologlar,

ormancılar ve ziraatçiler bakımından büyük önem taşımaktadır (Akman, 1999; Çalikoğlu, 2002).

Emberger yöntemine göre Türkiye’de Istranca Dağları’nın kuzeyi, Kastamonu civarı ve Doğu Karadeniz Bölgesi hariç bütün coğrafik bölgelerin değişik derecelerde Akdeniz ikliminin etkisi altında olduğu belirtilmektedir. Yöntemde Akdeniz ikliminin sınırları ve bu sınırlar içerisindeki dereceleri yağış-sıcaklık indisi (Q) ile ortaya konmuştur. Buna göre yağış sıcaklık faktörü (Q) değeri aşağıdaki formül yardımı ile belirlenmektedir (Akman, 1999).

$$Q = \frac{2000 P}{(M + m + 546.4).(M - m)} \quad (3.1)$$

Formülde;

Q =Yağış-Sıcaklık Faktörü,

P = Yıllık Yağış Miktarı (mm),

M=En sıcak ayın maksimum sıcaklık ortalaması ($^{\circ}$ C),

m= En soğuk ayın maksimum sıcaklık ortalaması ($^{\circ}$ C),

1000 = Sabite

değerlerini ifade etmektedir. Q değerlerine göre Akdeniz iklimleri aşağıdaki biyoklimatik katlara ayrılmaktadır (Akman 1999; Çalikoğlu, 2002):

1. $Q < 20$: Çok Kurak Akdeniz İklimi
2. $Q = 20$ ile 32 : Kurak Akdeniz İklimi
3. $Q = 32$ ile 63 : Yarı Kurak Akdeniz İklimi
4. $Q = 63$ ile 98 : Az Yağışlı Akdeniz İklimi
5. $Q > 98$: Yağışlı Akdeniz İklimi

Yukarıdaki açıklamadan da görüldüğü üzere Q değerinin artması ile birlikte bir bölgenin kuraklığı azalmaktadır. Her ne kadar Q faktörü ekolojik açıdan önemli olsa da, m değeri ile ilişkiye getirildiğinde tanımlayıcı özelliği artmaktadır. Buna göre Emberger

Q ve m değerlerinin sınırlarını içeren bir iklim diyagramı geliştirmiştir (şekil 3.3). Söz konusu diyagramdan biyoiklim zonları kolayca belirlenebilmektedir.

m değerleri ise aşağıdaki sınırlara göre bir sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır.

$m < -10^{\circ}\text{C}$	Kışı Buzlu
$-7^{\circ}\text{C} < m < -10^{\circ}\text{C}$	Kışı Aşırısı Soğuk
$-3^{\circ}\text{C} < m < -7^{\circ}\text{C}$	Kışı ok Soğuk
$0^{\circ}\text{C} < m < -3^{\circ}\text{C}$	Kışı Soğuk
$0^{\circ}\text{C} < m < +3^{\circ}\text{C}$	Kışı Serin
$+3^{\circ}\text{C} < m < +4.5^{\circ}\text{C}$	Kışı Ilık
$+4.5^{\circ}\text{C} < m < +7^{\circ}\text{C}$	Kışı Yumuşak
$+7^{\circ}\text{C} < m < +10^{\circ}\text{C}$	Kışı Sıcak
$m > +10^{\circ}\text{C}$	Kışı ok Sıcak

Emberger yönteminde diğer önemli olan ise yaz kuraklığı indisidir (S). Söz konusu bu indis de, aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir.

$$S = \frac{PE}{M} \quad (3.2)$$

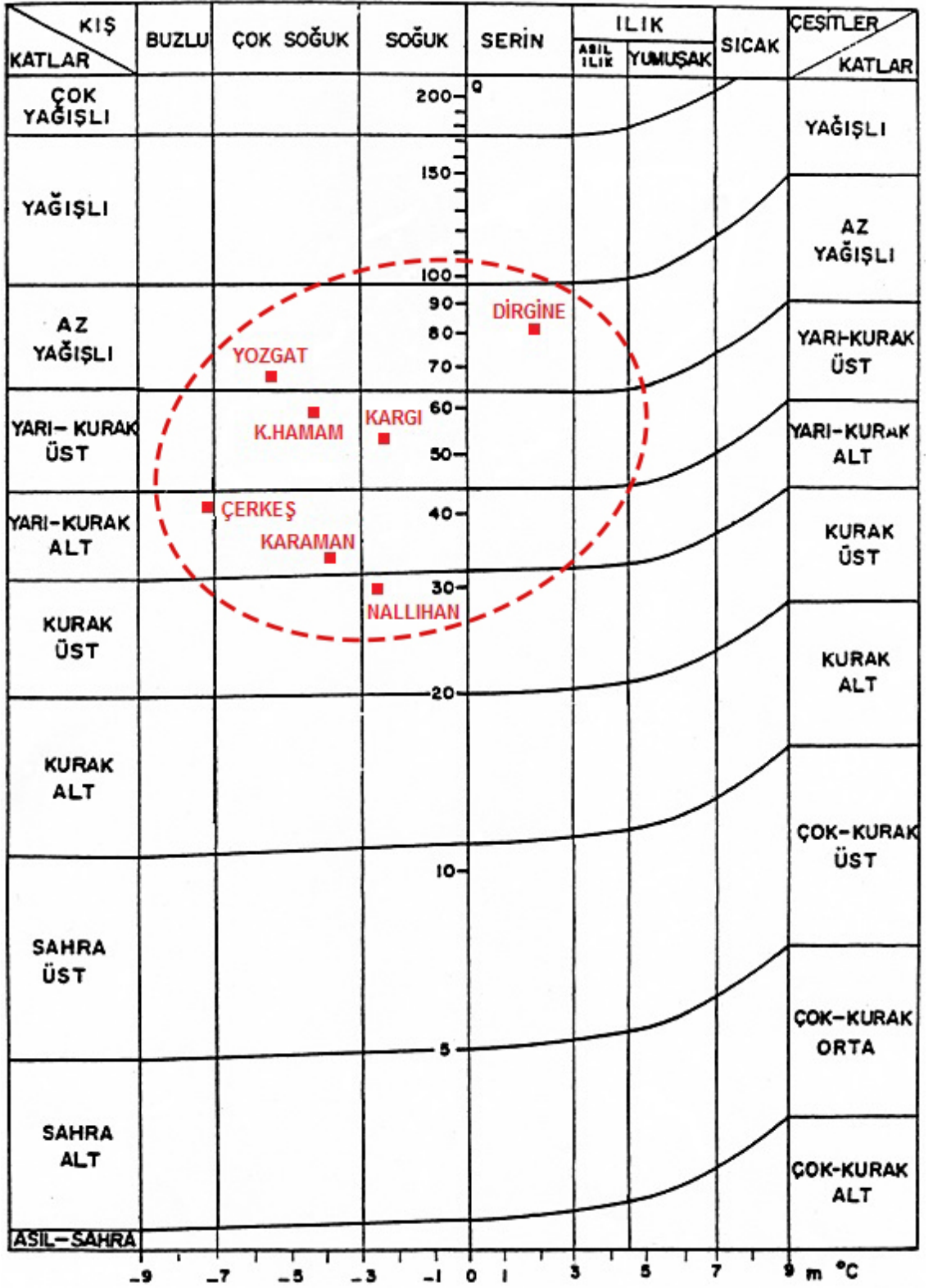
Formülde;

PE = Yaz Ayları (Haziran, Temmuz, Ağustos) Yağış Ortalaması (mm),

M = En sıcak ayın maksimum sıcaklık ortalaması (C°),

değerlerini ifade etmektedir (Akman, 1999).

Yaz kuraklığı insisi (S) azaldıkça bir bölgenin yaz kuraklığı şiddeti artmaktadır.



Şekil 3.3: Emberger yağış-sıcaklık iklim diyagramı ve seçilen orijinlerin bu diyagramda gösterilmesi (Akman, 1999).

Ayrıca orijinlere ait, uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), uzun yıllar aylık minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) ve uzun yıllar aylık maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3: Tohum toplanan orijinlere ait bazı sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) değerleri.

Orijinler	Uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kargı	-0.1	1.4	5.7	10.9	15.1	18.9	21.9	21.9	17.9	12.6	6.1	1.5
Çerkeş	-2.5	-1.6	2.3	7.6	11.9	15.4	18.4	18.3	13.9	9.2	3.4	-0.4
Dirgine	5.2	5.4	8.1	12.7	16.6	20.3	23.0	22.9	19.0	14.8	10.1	6.6
K.Hamam	-1.1	0.0	4.0	9.1	13.7	17.6	20.9	20.6	16.1	10.7	4.7	0.6
Nallıhan	1.2	2.7	6.6	11.2	16.0	20.3	23.0	23.0	19.1	13.7	7.1	3.0
Karaman	0.2	1.2	5.8	11.4	16.1	20.5	23.6	23.0	18.6	12.8	6.3	2.1
Yozgat	-2.0	-1.0	2.8	8.3	12.9	16.7	19.6	19.7	15.5	10.2	4.2	0.0
Orijinler	Uzun yıllar aylık minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kargı	-16.4	-15.8	-12.7	-9.0	-0.4	5.0	8.0	8.0	3.0	-3.6	-7.8	-12.3
Çerkeş	-28.3	-30.8	-29.0	-19.0	-7.0	-1.9	-2.0	-0.2	-6.8	-8.2	-20.2	-30.0
Dirgine	-9.6	-11.6	-8.2	-1.0	2.4	5.5	10.5	11.8	5.4	0.6	-2.4	-7.6
K.Hamam	-22.2	-22.8	-20.5	-11.1	-3.4	0.8	2.5	3.9	-1.2	-8.2	-13.2	-18.3
Nallıhan	-18.8	-15.1	-14.5	-4.0	0.3	4.0	7.0	8.8	3.0	-3.4	-10.0	-13.8
Karaman	-25.8	-28.0	-20.2	-8.3	-2.2	3.4	6.4	5.6	-1.0	-5.4	-21.2	-26.1
Yozgat	-20.0	-24.4	-20.6	-12.6	-3.0	1.7	4.5	5.0	0.1	-5.3	-14.1	-20.2
Orijinler	Uzun yıllar aylık maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kargı	14.4	18.0	28.5	30.2	33.2	36.6	41.5	40.2	37.7	31.0	25.2	16.8
Çerkeş	13.6	16.5	25.2	29.2	30.5	35.0	38.4	36.6	34.0	31.2	23.2	16.5
Dirgine	22.6	26.1	32.2	36.5	35.5	38.3	41.8	41.2	39.2	37.6	28.2	23.2
K.Hamam	15.0	17.4	24.4	29.3	31.0	34.9	39.2	38.7	35.3	30.5	23.2	15.2
Nallıhan	17.0	20.6	27.6	31.8	34.0	37.4	40.4	40.2	38.0	33.0	25.8	18.5
Karaman	18.6	20.5	28.7	32.3	34.4	36.9	40.4	38.7	36.4	33.2	25.7	20.7
Yozgat	13.2	16.4	24.2	27.6	30.0	33.1	38.8	36.0	33.9	30.1	22.2	18.1

*Meteorolojik veriler 1950-2015 yıllarını kapsamaktadır **Rakamlar sırası ile ayları ifade etmektedir (1-12)
 *** Yaşanan mutlak minima tarihleri, **Kargı:** 21.01.1976 (-16.4°C), **Çerkeş:** 23.02.1985 (-30.8°C), **Dirgine:** 04.02.1950 (-11.6°C), **K.Hamam:** 23.02.1985 (-22.8°C), **Nallıhan:** 31.01.2006 (-18.8°C), **Karaman:** 17.02.1985 (-28.0°C), **Yozgat:** 23.02.1985 (-24.4°C).

Sıcaklık değerlerinden yaşama açısından kısıt faktörler niteliğinde olan “*mutlak minima*” ve “*mutlak maksima*” bitki yaşamı için önemlidir. Uzun zaman aralıkları ile tekrarlanan bu gibi uç değerler türlerin ölümü ya da yaşamasını tayin eden sınırlayıcı bir iklim faktörü konumundadır.

3.1.2. Seçilen Orijinlerden Tohum Temini

Anadolu Karaçamında Şubat-Mart aylarında toplanan kozalaklardan elde edilen tohumların en yüksek çimlenme yeteneğine sahip olduğu belirtilmektedir (Atay, 1959; Boydak, 1982). Bu amaçla söz konusu orijinlerden tohum teminini sağlamak amacıyla 8-20 Mart 2010 tarihleri arasında belirlenen orman alanlarına gidilerek kozalak toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kozalak toplama işleminden önce arazide alanlar hakkında önemli bazı bilgiler (yükselti, bakı, ağaç boyu çapı vb) bilgi formunda kayıt altına alınmıştır (Tablo 3.4). Arazideki çeşitli gözlemlerin ardından bol tohum tutan ağaçlar belirlenip işaretlenmiştir. Daha sonra imkanlar dahilinde işçi ile ağaca çıkılarak, bazı yerlerde bakım tedbirlerinin uygulandığı bölmelerde ise kesilmiş ağaçlardan kozalak toplama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Toplama işlemi sırasında ağaçlar arasında en az 75-100 metre mesafe olmasına dikkat edilmiş, orijinlere göre değişmekle birlikte en az 9 en çok 14 ağaçtan kozalak toplanmıştır. Toplama işleminin ardından her bir ağaçtan toplanan kozalaklar ağaç bazında ayrı ayrı çuvallara konularak gerekli etiketleme işlemleri gerçekleştirilmiş, vakit kaybetmeden İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı Tohum Laboratuvarına gönderilmiştir. Çalışmalar sırasında bol miktarda fotoğraf çekilmiştir.



Şekil 3.3: Tohum toplanan bazı alanlara ait görüntüler.

Tablo 3.4: Tohum toplanan meşcerelere ait arazi bilgi formu.

TOHUM TOPLANAN ALANA AİT BİLGİLER						
Alanın Yeri:		Baki:		Toplama Tarihi:		
İşletmesi		Yükselti (m):		Eğim (%):		
Harita Pafta No:		Bölme No:		Biyoklimi:		
Meşcere Tipi:		Kapalılık:		Bonitet:		
GPS Koordinatları	E: N:	Yeryüzü Biçimi:				
Ölçüm Değerleri						
Ağaç no	Ağaç türü	Boy (m)	Yaş	d _{1,30} Çevre-Göğüs Çapı (cm)	Tepe Çatısı (cm)	
					K-G	D-B
1	Karaçam					
2	Karaçam					
3	Karaçam					
4	Karaçam					
5	Karaçam					
6	Karaçam					
7	Karaçam					
8	Karaçam					
9	Karaçam					
10	Karaçam					
Tohum toplanan ağaçlara ait özellikler;						
Diğer Önemli Notlar (Meşcere hakkında, anakaya, toprak, vb..)						
Resim No:						

Anadolu Karaçamı kozalakları toplanmayı takiben rutubet kaybı ve artan sıcaklığın yükselmesiyle hiç müdahale olmaksızın karpellerini kolayca açmaktadır. Bu bağlamda toplanan kozalaklar Silvikültür Anabilim Dalı uygulama salonunda 15 gün boyunca oda sıcaklığına maruz bırakılmışlardır. İşlem sırasında tohumların karışmaması amacıyla yine orijinler ayrı ayrı ve ağaç bazında ayrı çuvallarda tutulmuşlardır (Şekil 3.5). Kozalakların karpellerinin açılmasından sonra el ile tohum çıkarma işlemi sağlanmış ardından tohumlar kanatlarından ve yabancı maddelerden temizlenerek orijin ve ağaç bazında tohum saklama kaplarına konmuş ve 4 °C de ekim için hazır hale beklemeye bırakılmışlardır.



Şekil 3.4: Araziye kozalak toplama işleminden bir görünüm.



Şekil 3.5: Kozalaktan tohum çıkarma aşaması.

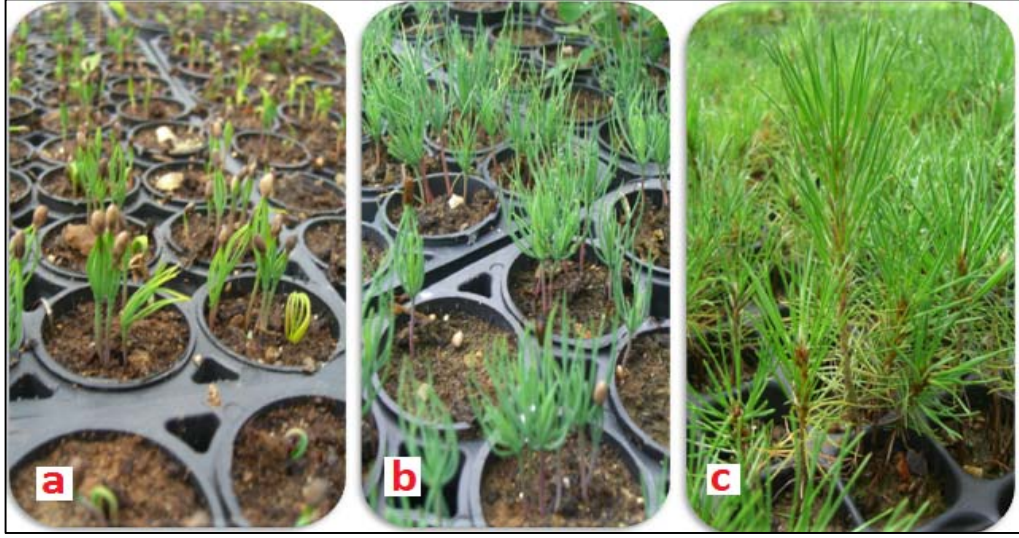
3.1.3. Araştırmaya Konu Olan Fidanların Yetiştirilmesi ve Bakımı

Elde edilen tohumların fidanlıkta ekim işlemleri için gerekli yer, işçi ve Enso tipi kap (roket tipi, 45 lik kap) temin edildikten sonra 25-26 Nisan 2010 tarihleri arasında Bahçeköy Orman Fidanlığında ekimler gerçekleştirilmiştir. Enso tipi kabın ebatları 30 cm x 49 cm x 16 cm. dir. Ayrıca söz konusu orijinlerin tohumları ile fidanlıkta Nisan 2011 döneminde tedbir amaçlı ikinci bir ekim işlemi de gerçekleştirilmiştir.

Ekimlerde harç ortamı 3/5 toprak-gübre, 1/5 çam kabuğu ve 1/5 turba olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekimler fidan oluşumunu garanti altına almak için her bir kap gözüne 4'er tohum atılarak, 1-1.5 cm derinliğinde yapılmıştır (Şekil 3.6). Her bir orijin için 12 adet enso tipi kap kullanmış (12x45=540 fidan, toplam 540x7=3780 fidan), kaplar ekim parsellerine tesadüfi şekilde yerleştirilerek deneme deseni oluşturulmuştur. Fidanların damping-off ve diğer mantar zararlarından zarar görmemesi için sulama işlemi çimlenmeler başlayana kadar gün ortasında çimlenmelerden sonra sabah ve akşam saatlerinde devam etmiştir. Ekimlerden 10-15 gün sonra çimlenmeler başlamış ve yaklaşık olarak %85 çimlenme gözlemlenmiştir.

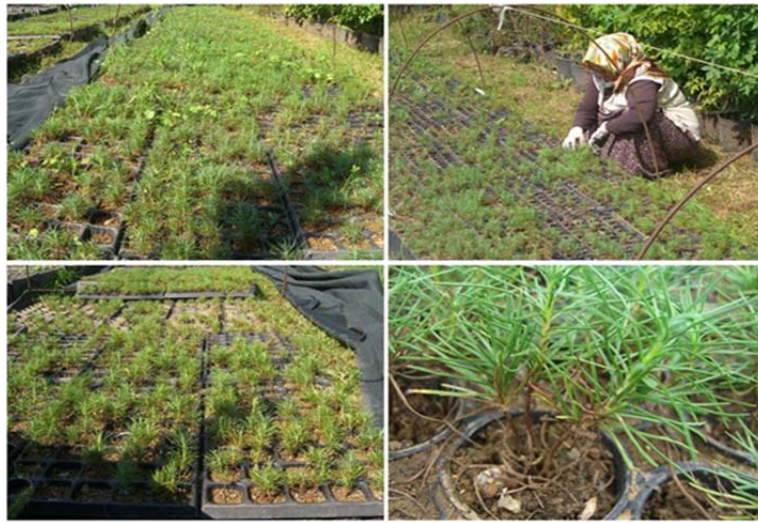


Şekil 3.6: Fidanlıkta ekim çalışmalarından genel bir görünüm.



Şekil 3.7: Ekilen tohumların çimlenmesinden genel bir görünüm a-ilk çimlenmeler (15.gün), b-çimlenmeden 2 ay sonra, c- ekimden bir yıl sonra.

Çimlenmelerin başlamasını takiben Bahçeköy Orman Fidanlığında fidanlar düzenli olarak gözetim altında tutularak ve gerekli bakım işlemleri yerine getirilmiştir. Özellikle kaplarda ortaya çıkan yabancı otlar fidanların büyümesini engellememesi için belirli aralıklarla elle temizlenmiştir (Şekil 3.8). Fidanlar büyüyüp belirli bir aşamaya geldikten sonra kaplarda tekleme işlemi yapılmıştır. Yine sıcak yaz aylarında fidanların sıcaklardan zarar görmemesi için yapay gölgelik oluşturulmuştur (Şekil 3.9). Şekil 3.10'da ise kuraklık testleri için hazır hale gelen 2+0 yaşlı fidanlar görülmektedir.



Şekil 3.8: Fidanlarda ot alma ve tekleme işleminden bir görünüm.



Şekil 3.9: Fidanlara yapay gölgelik oluşturulması.



Şekil 3.10: Kuraklık testleri için hazır hale gelen 2+0 yaşındaki Anadolu Karaçamı fidanları.

3.1.4. Araştırmada Kullanılan Araç ve Gereçler

Anadolu Karaçamı orijinlerinin dona ve kuraklığa karşı dayanıklılıklarını belirlemek için yürütülen bu çalışmada özellikle laboratuvar aşamasında kullanılan araç ve gereçler aşağıda kısaca belirtilmiştir.

- VÖTCH marka VT3-4034 model ayarlanabilir soğutucu kabin. Cihazın sıcaklık sınırı -42°C - $+180^{\circ}\text{C}$ sıcaklık, programlanabilmekte ve otomatik olarak kontrol edilebilmektedir.
- VÖTCH marka VB-0714 model iklimlendirme dolabı. Cihazın sıcaklık sınırı -10°C - $+45^{\circ}\text{C}$, rutubet sınırı %50 - %90 arasında olup sıcaklık, rutubet ve ışık programlanabilmekte ve otomatik olarak kontrol edilebilmektedir.
- PMS marka 1000 model Scholander basınç odası cihazı. 0-70 bar arası değerlerde, azot gazı ile çalışmaktadır.
- Opti-Science OS-30P marka Klorofil Fotometre cihazı ve karanlığa adapte klipsleri.
- 50 litrelik Azot gazı tankı ve azot gazı.
- ELIX - Millipore marka saatlik 10 litre üretim kapasiteli saf su cihazı.
- Nüve marka otoklav.
- Heraeus marka $0-250^{\circ}\text{C}$ sıcaklık arasında çalışabilen kurutma fırını.
- AND marka, HM 200 model elektronik hassas terazi.
- Inolab Marka elektiriksel iletkenlik cihazı.
- AND marka, HM 200 model elektronik hassas terazi.
- Filtre kağıtları, cam ve plastik tüpler, büyüteç, bistüri, kesici jilet, etil alkol ve diğer gereçler.

3.2. YÖNTEM

Çalışmanın aşamalarına göre kullanılan yöntemler aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

3.2.1. Kuraklığa Dayanıklılık Testlerinde Kullanılan Yöntemler

3.2.1.1. Orijinleri Temsil Eden Fidanların Transpirasyon Tutumlarının Belirlenmesi

Yöntemde 7 farklı orijine ait Anadolu Karaçamı fidanları kontrollü koşullarda transpirasyon yolu ile su kaybına tabi tutulmuşlardır. Denemeler sırasında fidanların kaybettikleri su miktarları, belirli aralıklarla hassas terazide yapılan ağırlık ölçümleri ile belirlenmiştir. Fidan su potansiyeli değerleri ise yine eş zamanlı olarak Sholander basınç odası yöntemi kullanılarak yapılan su potansiyeli ölçümleri ile belirlenmiştir.

Transpirasyon analizleri, her bir Anadolu Karaçamı orijinini temsil eden 4'er adet sağlıklı 2+0 yaşında tüplü fidan üzerinde yürütülmüştür. Analizlerden 1 gün önce analizi yapılacak orijinlere ait 6 adet sağlıklı fidanın kök boğazı çapı ve boyu belirlenerek kök boğazından kesilmişlerdir. Alınan fidan örnekleri hemen polietilen torbalara konularak korunmuş ve süratle laboratuvar ortamına getirilerek hassas terazide taze ağırlıkları tartılmıştır. Aynı fidanlar büyük plastik kaplar içerisine alınmış ve kaplar saf su ile doldurulmuştur. Ağızları kapatılan kaplar +4 °C deki buzdolabına yerleştirilmiş ve 24 saat bekletilmişlerdir (Colombo, 1987; Schulte ve Henry, 1992; Fernandez ve diğ., 1999; Dirik, 2000; Royo ve Pardos, 2001; Calamassi ve diğ., 2001; Çalikoğlu, 2002). Böylece fidan örneklerinin tam doygun hale gelmesi sağlanmıştır (Şekil 3.11). Ertesi sabah kaplardan alınan fidanlarda su potansiyeli değerleri ölçülmüş, su potansiyeli -2 bardan büyük olan fidanların tam doygun hale geldikleri kabul edilmiştir. Genel olarak tüm orijinlere ait fidanlar, bir gece içerisinde tam doygun hale gelmişlerdir.



Şekil 3.11: Fidanların doygun hale getirilmesi işlemi.

Doygun hale gelen 4 fidan örneği ile orijinlerin transpirasyon tutumları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan ölçümlerle, orijinlerin transpirasyon ile su kaybının zamana bağlı değişimi, kaybedilen su miktarı ve bitki su potansiyeli değerleri bakımından ortaya konmaya çalışılmıştır.

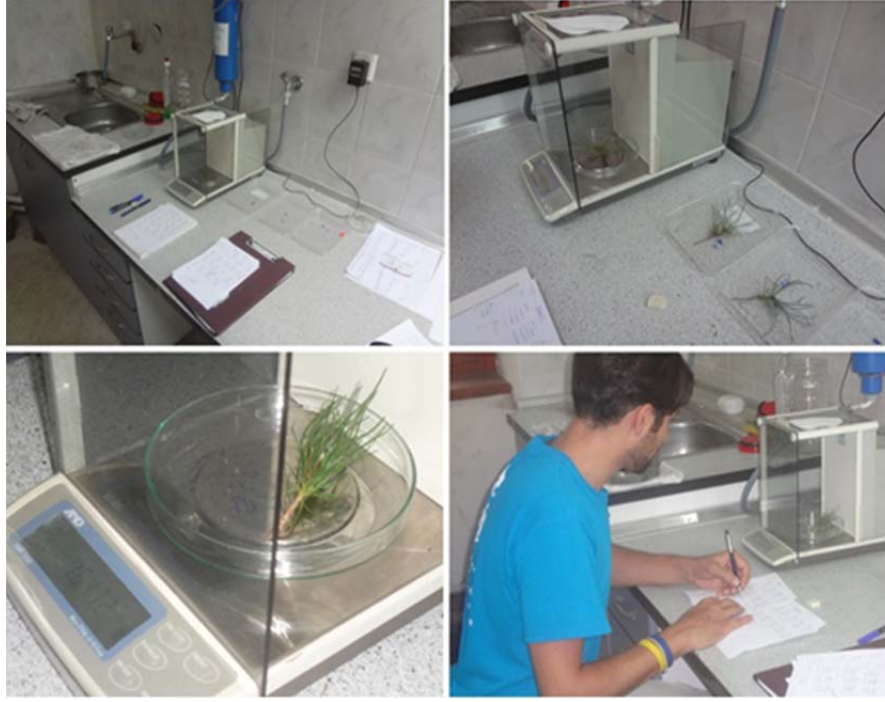
Ölçümler esnasında fidanlar saf su ortamından alınmış ve yüzeysel olarak kurutma kağıdı ile süratle kurulanmışlardır. Bu fidanlardan üç tanesi ayrı ayrı hassas terazide

tartılarak doygun ağırlıkları (SW) bulunmuş, bir adet fidan ise su potansiyeli değeri ölçümü için ayrılmıştır.

Bu işlemlerin ardından dört adet fidanın tamamı, iklimlendirme dolabında programlanan koşullarda transpirasyon ile su kaybına maruz bırakılmışlardır. Cihazın koşulları; 30 °C sıcaklık, %75 bağıl nem ve 1600 lux ışık şiddeti olacak şekilde ayarlanarak fidanlar bu koşullarda toplam 420 dakika tutulmuşlardır (Şekil 3.12). Başlangıçta %75 olan bağıl nem, deneme sonunda %50-55'e düşürülmüştür. Fidanlar deneme başlangıcından itibaren 5., 10., 15., 20., 25., 30., 45., 60., 75., 90., 120., 150., 180., 240., 300., 360., ve 420. dakikalarda iklimlendirme dolabı dışarısına çıkartılarak her defasında 3 adet fidanın ayrı ayrı ağırlıkları tespit edilmiş (Şekil 3.13), daha önce belirtilen 1 fidanda ise eş zamanlı olarak su potansiyeli ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.14). Ölçümlerden sonra fidanlar vakit kaybetmeden iklimlendirme dolabına geri konmuş, ölçümler 420. dakikaya kadar devam etmiştir. Her günkü denemeler sonunda ağırlık ölçümleri yapılan fidanlar kurutma fırınında 105 ± 1 °C de 24 saat tutularak kurutulmuş ve kuru ağırlıkları (DW) belirlenmiştir (Şekil 3.15). Her bir orijin 1 günde analiz edilecek şekilde çalışmalar yürütülmüştür.



Şekil 3.12: Fidanların iklimlendirme kabininde transpirasyon ile su kaybına maruz bırakılmaları.



Şekil 3.13: Transpirasyon analizi sırasında fidanlarda ağırlık tartımı.



Şekil 3.14: Transpirasyon analizi sırasında fidanlarda su potansiyeli ölçümleri.



Şekil 3.15: Fidanların kuru ağırlıklarının belirlenmesi.

Orijinlerin transpirasyon analizi deneyleri, yılın en kurak dönemi içerisinde olan 02-08 Ağustos 2012 tarihleri arasında, her orijin 1 günde analiz edilecek şekilde yapılmıştır. Analizlerin yılın bu devresinde yapılmasının nedeni, bitkilerin yıllık fizyolojik döngüleriyle uyumlu olarak çalışabilmektir. Örneğin bitkiler, kış aylarında ve yazın kurak devrenin başında, hücreleri içerisinde çözünebilir maddelerin oranını arttırarak, kuru ağırlık oranlarını üst düzeye çıkarabilmekte, böylece don ve kuraklık stresine dayanıklılıklarını arttırmaktadırlar (Dirik 1994; Kozłowski ve Pallardy, 1996; Çalıköğlü, 2002).

Ölçümler tamamlandıktan sonra her bir orijin için, su kaybı süresince geçen zaman-birikimli transpirasyon ilişkisini gösteren eğriler bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Bu eğrilerden faydalanarak gerekli fizyolojik göstergeler hesaplanmış ve analitik olarak değerlendirilmiştir.

Transpirasyon eğrileri çizilirken her fidanın ölçüm yapılan tüm zaman dilimlerindeki toplam kaybettiği su miktarı denemeler süresince belirli anlarda tespit edilen fidan ağırlıkları yardımı ile kolayca hesaplanmıştır. Buna göre belirli bir andaki (n) birikimli transpirasyon (Sct_n) aşağıdaki formül yardımı ile kolayca belirlenmiştir.

$$Sct_n = SW-FW \quad (3.3)$$

Formülde;

Sw: Fidan örneğinin tam doygun haldeki ağırlığı

FW_n: n. ci zaman dilimindeki tartı ağırlığını, ifade etmektedir.

Formül yardımı ile gram cinsinden belirlenen miktarlar, stoma ve kütikula transpirasyonlarını ortaya koyabilmek amacı ile aşağıdaki formül yardımı ile 100 gr. kuru ağırlık başına düşen transpirasyon miktarı şeklindeki verilere dönüştürülmüştür. Her orijinde üç fidan için belirlenen bu değerlerin daha sonra ortalamaları alınmıştır.

$$Sct_n = \frac{SW-FW}{DW} \times 100 \quad (3.4)$$

Son olarak her bir orijin için zaman-birikimli transpirasyon eğrileri çizilmiştir. Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere (Bakınız Bölüm 2.4.2) transpirasyonla su kaybında 3 aşama ayırt edilmektedir (Çalikoğlu, 2002). Birinci aşama stoma kontrolünün başladığı zaman, ikinci aşama stomaların kapandığı zamanı üçüncü aşama ise sadece kütikular yolla su kayıplarını ifade etmektedir.

Zaman-birikimli transpirasyon eğrileri çizilen Anadolu Karaçamı orijinleri, transpirasyon tutumları Tablo 3.5’de belirtilen parametreler bakımından analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.5: Transpirasyon analizlerinde hesaplanan parametreler ve birimleri

Sembol	Parametre	Birimi
T _I	Stoma kontrolüne kadar geçen süre dakika	dak.
T _{II}	Stomalar tamamen kapanana kadar geçen süre dakika	dak.
Ψ _{W1}	Stoma kontrolü başladığı andaki su potansiyeli	bar
Ψ _{W2}	Stomaların tamamen kapandığı andaki su potansiyeli	bar
S _{ctI}	Stoma kontrolü başladığı andaki birikimli transpirasyon	gr H ₂₀ /100
S _{ctII}	Stomaların kapandığı andaki birikimli transpirasyon	gr H ₂₀ /100
S _{ct}	Kütikular transpirasyon	gr H ₂₀ /100
R _{wCI}	Stoma kontrolü başladığı andaki oransal doygunluk	%
R _{wCII}	Stomaların tamamen kapandığı andaki oransal doygunluk	%

Oransal su içeriği değerleri,

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} \quad (3.5)$$

formülü yardımı ile belirlenmiştir (Çalıkoğlu, 2002; Larcher, 2003).

Burada;

FW = İlgili andaki fidan ağırlığı (gr)

SW = Fidanın doygun ağırlığı (gr)

DW = Fidanın tam kuru ağırlığını (gr) ifade etmektedir.

Orijinlerin transpirasyon tutumlarını ortaya koyan ve yukarıda sıralanan ilgili parametreler arasındaki istatistik ilişkilerin varlığı ve önem derecelerinin belirlenebilmesi amacıyla, SPSS programında Pearson'un Korelasyon Analizi yapılmıştır.

3.2.1.2. Basınç-Hacim(P-V) Eğrisi Analizi ile Orijinlerin Kuraklığa Toleranslarının Belirlenmesi

Daha önce belirtildiği üzere bitkilerin su potansiyellerinin bileşenlerini ve onların sahip olduğu toplam suyun değişik nitelikli kısımlarını fizyolojik olarak ortaya koyan basınç-hacim eğrileri, bitki türlerinin kuraklığa ve dona dayanıklılıklarının belirlenmesinde olduğu kadar fidan kalitesinin de ortaya konması gibi çoğu fizyolojik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle solma noktasındaki ozmotik potansiyel ve hücre elastikiyeti bitki hücrelerinin kuraklığa karşı koymuş olduğu tepkileri belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Tyree ve Hammel, 1972; Hinckley ve diğ., 1980; Colombo, 1987; Schulte ve Henry, 1992; Colombo ve Teng, 1992; Dirik, 2000; Çalıkoğlu, 2002; Bartlett ve diğ., 2012; Zhang ve Zgeng, 2012).

Basınç-hacim eğrileri her Anadolu Karaçamı orijininde 3'er adet fidan üzerinde yapılan ölçümlerle ortaya konmaya çalışılmıştır. Transpirasyon analizlerinde olduğu gibi ölçümlerden bir gün önce 5'er adet sağlıklı fidan kök boğazlarından kesilerek polietilen torbalara alınmış, vakit kaybetmeden laboratuvara getirilerek hassas terazide taze

ağırlıkları (FW) belirlenmiştir. Daha sonra fidanlar büyük plastik kaplar içerisine alınarak kaplar saf su ile doldurulmuştur. Ağızları kapatılan kaplar +4 °C deki buzdolabına yerleştirilmiş ve 24 saat bekletilmişlerdir (Bakınız Şekil 3.11). Böylece fidan örneklerinin tam doymun hale gelmesi sağlanmıştır (Colombo, 1987; Schulte ve Henry, 1992; Fernandez ve diğ., 1999; Dirik, 2000; Royo ve Pardos, 2001; Calamassi ve diğ., 2001; Çalikoğlu, 2002). Ertesi sabah kaplardan alınan fidanlarda (su potansiyeli değerleri -2 bardan büyük olan) 3 adet fidanda basınç-hacim eğrisi ölçümleri yapılmıştır. Her ölçümden önce fidanlar, kurutma kağıdı ile süratle kurutularak tam doymun haldeki ağırlıkları (SW) tespit edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Tam doymun hale gelen fidanların basınç-hacim ölçümleri için hazırlanması.

Anadolu Karaçamı orijinlerine ait fidanların basınç hacim eğrilerini çıkarmak için, ölçümü yapılacak her bir fidana Scholander basınç odasında 5'er barlık artışlarla toplam 12 kademeli basınç uygulanmıştır (0-60 arasında). Her basınç kademesinin uygulanışı 10 dakika sürmüştür. Belirli kademedeki basınç uygulamasının ardından cihaz basıncı 0'a düşürülmüş, fidanlar bu şekilde en az 2 dakika bekletilerek fidanların içsel su gerilimini ayarlamaları sağlanmıştır. Daha sonra cihaz basıncı bir üst kademedeki basınç seviyesine getirilmiş, bu işlem 0-60 bar arasında devamlı yinelenmiştir (Colombo, 1987; Turner, 1988; Dirik, 2000; Çalikoğlu, 2002).

Her basınç kademesinde, fidanların kaybettikleri su miktarını bulabilmek için daha önce hazırlanan ve ağırlıkları belirlenen yaklaşık aynı boyutlarda kurutma kağıtlarından faydalanılmıştır. Daha sonra bu kağıtlar fidanın basınç odası dışında kalan gövde kısmına kesit yüzeyini de kapatacak şekilde sıkıca sarılmıştır. Her bir basınç kademesi uygulaması süresince buharlaşma yolu ile su kaybını engellemek için kağıda sarılı fidan gövdesi küçük bir cam tüple kapatılmıştır. Her basınç uygulamasının sonunda, cam tüp ve gövdeye sarılı kurutma kağıdı çıkarılarak ıslanmış olan kağıt süratle tartılmıştır (Şekil 3.17). Kurutma kağıdının ıslak ağırlığı ile daha önce belirlenen kuru ağırlığı arasındaki fark, o basınç kademesinde fidandan çıkan suyun miktarını vermiştir. Böylelikle ölçüm sonunda, her basınç kademesinde çıkan su ve bunların birikimli değerleri hesaplanmıştır. Son basınç kademesinin (60 bar) uygulanmasının ardından, ölçümü yapılan fidan hassas terazide tartılarak deney sonu ağırlığı bulunmuştur (EW). Tüm ölçümler “Kademeli basınç uygulamalarını gösteren tabloya” kaydedilmişlerdir. Nallıhan orijinine ait ölçüm karnesi örneği Tablo 3.6’de verilmiştir.



Şekil 3.17: Basınç-hacim eğrisi ölçümlerinden bir kesit.

Tablo 3.6: Nallıhan orijinine ait basınç-hacim eğrisi ölçüm karnesi örneği.

Orijini: Nallıhan		Fidan No: 2		Tarih: 14.08.2012		
İlk ağırlık:1.7995 gr		Doygun Ağırlık (SW):2.0139 gr				
Deney Sonu Ağ.(EW):1.4905 gr		Kuru Ağırlık (DW):0.5734 gr				
Basınç sayısı (N)	Basınç kad. Bar (P)	1/P	Kurutma kağıdı kuru ağırlık mg.	Yaş Ağırlık mg.	Fark mg. mg.	Birikimli su mg.
1	5	0,200	53,6	110,7	57,1	57,1
2	10	0,100	51,8	95,7	43,9	101,0
3	15	0,066	47,6	86,4	38,8	139,8
4	20	0,050	53,2	86,8	33,6	173,4
5	25	0,040	51,2	81,7	30,5	203,9
6	30	0,033	49,6	78,7	29,1	233,0
7	35	0,028	53,6	82,6	29,0	262,0
8	40	0,025	49,1	74,1	25,0	287,0
9	45	0,022	54,7	81,0	26,3	313,3
10	50	0,020	54,4	77,6	23,2	336,5
11	55	0,018	51,6	68,5	16,9	353,4
12	60	0,016	50,6	66,0	15,4	368,8

Günlük denemelerin sonunda ölçümleri yapılan fidanlar kurutma fırınında 105 ± 1 °C de 24 saat kurutulularak kuru ağırlıkları (DW) belirlenmiştir (Bakınız Şekil 3.15). Orijinlerin basınç-hacim (P-V) analizi deneyleri, transpirasyon analizinde olduğu gibi yine yılın en kurak dönemi içerisinde olan 09-15 Ağustos 2012 tarihleri arasında, her orijin 1 günde analiz edilecek şekilde yapılmıştır (Bakınız Bölüm 3.2.1.1).

Laboratuvar çalışmaları tamamlandıktan sonra her bir fidan için Microsoft Excel ortamında veri tablosu oluşturularak basınç-hacim eğrileri düzenlenmiştir. Oluşturulan bu eğrilerden Tablo 3.7’de gösterilen bitki su bileşeni değerleri ve ilgili diğer parametreler hesaplanmıştır. En yüksek elastik modül (E_{max}) ise bölüm 2.4.2’de açıklandığı gibi hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan parametrelerden V_2 değeri; formül (2.3) yardımı ile elde edilmiştir (sayfa 35). Ψ_{P2} değeri ise; basınç hacim eğrisi üzerinden grafik yolla hesaplanmıştır (bakınız şekil 4.2 ve 4.3).

Tablo 3.7: Basınç-hacim eğrililerinden hesaplanan parametreler ve birimleri.

Sembol	Parametre	Birimi
$\Psi\pi_{100}$	Tam doygun haldeki ozmotik potansiyel	bar
$\Psi\pi_0$	Solma noktasındaki ozmotik potansiyel	bar
E_{Max}	En yüksek elastik modül	bar
V_0/V_T	Simplastik su oranı	%
V_0/D_w	Birim kuru ağırlığa düşen simplastik su oranı	gr.
V_e/V_0	Solma noktasına kadar çıkan simplastik su oranı	%
R_{WCZt}	Solma noktasındaki oransal su içeriği	%

Basınç-Hacim Eğrisi analizi ile elde edilen parametrelerin kendi aralarındaki ilişkinin şekli ve önem derecesini ortaya koymak amacıyla, SPSS programında Pearson'un Korelasyon Analizi de uygulanmıştır.

3.2.2. Dona Dayanıklılık Testleri ve Bu Testlerde Kullanılan Yöntemler

6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden Anadolu Karaçamı orijinlerinde dona dayanıklılık testleri kışın ve ilkbaharda olmak üzere iki dönem halinde yapılmıştır. Söz konusu testler ve bu testler ile fidanlarda meydana gelen don zararını belirlemek için kullanılan yöntemler aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

3.2.2.1. Kış Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testleri

6 Farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 Anadolu Karaçamı orijinlerinden yetiştirilen 3+0 yaşlı fidanlar ile kışın dona duyarlılık testleri -20, -25, -30 ve -40 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Bir grup fidan ise kontrol grubu olarak ayrılmıştır. Her orijinde her sıcaklık kademesi ve kontrol grubu için 20 fidan kullanılmıştır (4 fidan x 5 tekrar). Toplamda 7 Orijin x 5 sıcaklık kademesi x 20 Fidan=700 fidan denemeye tabi tutulmuştur. Her sıcaklık kademesinde bütün orijinlere ait fidanlar aynı anda düşük sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır.

Kışın dona duyarlılık testleri yılın en soğuk ayı olan 2013 yılı şubat ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Teste tabi tutulacak fidanlar 15 gün öncesinden İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı Laboratuvarında soğutma kabinlerine alınarak +5 °C sabit sıcaklıkta test gününe kadar bekletilmişlerdir. Böylece fidanların soğuğa uyumu sağlanmıştır.



Şekil 3.18: Fidanların soğutucu kabinlerde bekletilmesi.

Bir bitkinin bütün olarak kullanılmasıyla yapılan dona duyarlılık testlerinde kök sıcaklığının korunması büyük önem taşımaktadır. Kök sıcaklığı korunmadığı takdirde sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Çünkü doğada bitkilerin kaldığı düşük sıcaklık derecelerinde bitki kökleri toprak altında kaldığı için ortamdaki düşük sıcaklık derecesini görmemektedir. Bilindiği gibi köklerin dona dayanıklılığı bitkilerin toprak üstü kısmından daha azdır ve kök sistemleri ile birlikte zarar görüp büyüme potansiyeli azalan fidanlar dona dayanıklılık test sonuçlarını etkileyebilmektedir. Kök sıcaklığı korunduğu takdirde kökte faaliyet devam etmekte ve bitki düşük sıcaklıklardan olumsuz etkilenmektedir. Nitekim bütün bir bitki ile yapılan dona dayanıklılık testlerinde kök sıcaklığının izole edilerek korunması gerektiği belirtilmektedir (Ritchie, 1984; Burr ve diğ., 1990; Burr ve diğ., 2001; Larcher, 2003). Örneğin -20°C sıcaklıkta ibreli türler üzerinde yapılan don testinde kök sıcaklığının -2°C sıcaklığın altında düşmeyecek şekilde izole edilerek korunması gerektiği bildirilmektedir (Hirondelle ve diğ., 2006).

Soğuğa uyumu sağlanan fidanların denemelerden önce kök sıcaklıklarını korumak üzere bir sistem geliştirilmiştir. Bunun için soğutucu kabin içerisine sığabilecek boyutlarda ahşaptan kutu yapılmıştır. Kutunun tabanına bir miktar toprak konduktan sonra denemeye tabi tutulacak fidanlar etiketlenerek kutu içerisine yerleştirilmiş ve kök boğazlarına kadar toprakla kapatılmışlardır. Ayrıca ahşap kutunun çevresi izocamla sarılmıştır (Şekil 3.19). Kök sıcaklıkları korunan fidanlar soğutucu kabin (Vötech-VT3-4030) içerisine yerleştirilerek denemelere hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Kök sıcaklıkları korunan fidanların soğutucu kabinde düşük sıcaklıklara maruz bırakılmaları.

Soğutucu kabinin sıcaklığı oda sıcaklığına ayarlanarak testler başlatılmıştır. Sonrasında sıcaklık saatte $5\text{ }^{\circ}\text{C/h}^{-1}$ azaltılarak hedeflenen sıcaklık kademelerine ulaşılmış, fidanlar bu derece de 8 saat bekletilmiş ve tekrar aynı hızda sıcaklık artışı sağlanarak oda sıcaklığına getirilmiştir (Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002; Tinus, 2002; Semerci, 2005; Hirondelle ve diğ., 2006). Bu işlemler sırasında soğutucu kabin otomatik olarak programlanmıştır. Ayrıca don testleri süresince fidanlardan iki tanesine toprak sıcaklık ölçer yerleştirilerek toprak sıcaklıkları her 5 dakikada bir kayıt altına alınmıştır. Yine soğutma kabinin içindeki sıcaklıkta otomatik sıcaklık ölçer ile her 5 dakikada bir kayıt altına alınmıştır. Ayrıca kayıt altına alınan toprak sıcaklıkları, orijinlere ait yörelerin toprak sıcaklıkları ile karşılaştırılmıştır. Bunun için söz konusu yörelere ait 5 ve 10 cm. derinlikteki toprak sıcaklıkları ile uzun yıllar minimum sıcaklık ortalamaları ilgili meteoroloji istasyonlarından temin edilmiştir. Tablo 3.8’de ilgili sıcaklıklar görülmektedir.

Tablo 3.8: Kış testlerinde doğadaki (Çerkeş orijini) ve soğutucu kabindeki sıcaklıkların karşılaştırılması.

Ocak-Şubat ayı en düşük sıcaklık ort. °C	Bu aylarda 5 ve 10 cm. deki en düşük toprak. sic. ort °C	Soğutucu kabin sıcaklığı °C	Fidarlarda en düşük toprak sic. ort °C
		-20	-3.6
		-25	-7.5
-19.5	-3,9	-30	-9.3
		-40	-21.9

*İlgili aylarda son 10 yılın meteorolojik verileri alınmıştır.

3.2.2.2. İlkbahar Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testleri

6 Farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 Anadolu Karaçamı orijinlerinden yetiştirilen 3+0 yaşlı fidanlar ile ilkbaharda dona duyarlılık testleri ise -5, -10 ve -15 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Yine bir grup fidan ise kontrol grubu olarak ayrılmıştır. Çalışılan orijinlerde sıcaklık kademesi ve kontrol grubu için 20 fidan kullanılmıştır (4 fidan x 5 tekrar) Toplamda 560 fidan denemeye tabi tutulmuştur (7 Orijin x 4 sıcaklık kademesi x 20 fidan).

İlkbaharda dona duyarlılık testleri vejetasyon mevsiminin başlaması ile tepe tomurcukları patlayan fidarlarda 2013 yılı Nisan ayında gerçekleştirilmiştir. Teste tabi tutulacak fidanların kışın don testlerinde olduğu gibi, 15 gün öncesinden laboratuvar ortamında +5 °C sabit sıcaklıkta soğutma kabinlerinde bekletilerek soğuğa uyumları sağlanmıştır.

İlkbaharda dona duyarlılık testlerinde kış testlerinde olduğu gibi fidanların toprak sıcaklıkları aynı şekilde korunarak fidanlar soğutucu kabin içerisine yerleştirilmiştir. Yine soğutucu kabinin sıcaklığı oda sıcaklığına ayarlanarak testler başlatılmıştır. Sonrasında sıcaklık saatte 5 °C/h⁻¹ azaltılarak hedeflenen sıcaklık kademelerine ulaşılmış, fidanlar bu sıcaklık kademelerinde 3 saat bekletilmiş ve sonrasında sıcaklık saatte 5 °C/h⁻¹ azaltılarak hedeflenen sıcaklık kademelerine ulaşılmış, fidanlar bu derece de 8 saat bekletilmiş ve tekrar aynı hızda sıcaklık artışı sağlanarak oda sıcaklığına getirilmiştir (Burr ve diğ., 2001; Linden, 2002; Tinus, 2002; Semerci, 2005; Hirondele ve diğ., 2006). Kış testlerinde olduğu gibi fidanlardan iki tanesine toprak sıcaklık ölçer yerleştirilerek toprak sıcaklıkları yine her 5 dakikada bir kayıt altına alınmıştır.

Soğutucu kabin sıcaklığı, toprak sıcaklık ölçer takılarak belirlenen fidanların toprak sıcaklıkları, orijinlerin toplandığı yörelerdeki minimum en düşük sıcaklık ve toprak sıcaklığı değerleri Tablo 3.9' verilerek karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.9: İlkbahar testlerinde doğadaki (Çerkeş orijini) ve soğutucu kabindeki sıcaklıkların karşılaştırılması.

Mart-Nisan ayı en düşük sıcaklık ort. °C	Bu aylarda 5 ve 10 cm. deki en düşük toprak sic. ort °C	Soğutucu kabin sıcaklığı °C	Fidarlarda en düşük toprak sic. ort °C
		-5	5.5
-4.9	3.5	-10	3.3
		-15	0.1

*İlgili aylarda son 10 yılın meteorolojik verileri alınmıştır.

3.2.2.3. İyon Sızıntısı Yöntemi ile Don Zararının Belirlenmesi

Kış ve ilkbahar döneminde yapılan dona dayanıklılık testleri sonrası orijinlere ait fidarlarda oluşan don zararının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden bir tanesi de iyon sızıntısı yöntemidir. Yöntemle bitki hücrelerinin uğradığı zarar miktarı elektriksel iletkenlik ölçümleriyle güvenle belirlenebilmektedir. Elektriksel iletkenliğin yüksek olması don zararının göstergesi olarak hesap edilmektedir (Sutinen ve diğ., 1992; Linden, 2002; Tinus, 2002; Larcher, 2003; Semerci, 2005; Hironnelle ve diğ., 2006).

Bu yöntem ile dondurulan ve kontrol grubundaki orijinlere ait fidanların orta kısımlarından iğne yapraklar toplanmış ve bu iğne yaprakların ortalarından 2 şer adet 1 cm.'lik segmentler kesilmiştir. Ardından cam tüplere her bir fidandan 20 adet kesilmiş iğne yaprak segmenti konulmuştur (Şekil 3.20). Tüm orijinlere ait fidarlarda segment örnekleri etiketlenip cam tüplere konulduktan sonra üzerine 15 ml bidistile su ilave edilmiştir. Sonrasında ise tüpler çalkalayıcıya konarak 24 saat süre ile 100 rpm de yavaş yavaş çalkalanmıştır (Şekil 3.21). Çalkalama işleminden sonra tüplerde kondüktivimetre (İnolab-VTV) ile ilk elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.22). Ölçümleri yapılan örnekler bundan sonra 120 °C de 1 saat otoklavda bekletildikten sonra laboratuvarında soğumaları için bekletilmişlerdir (Şekil 3.23). Daha sonra ise örnekler üzerinde son elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.24). İlgili tüm ölçümler elektriksel iletkenlik ölçüm tablosuna kaydedilmiştir (Tablo 3.10).



Şekil 3.20: Fidanlara ait ibrelerden segment kesimi.



Şekil 3.21: Cam tüplerdeki örneklere bidistile su ilave edilerek çalkalanması.



Şekil 3.22: Örnekler üzerinde ilk elektriksel iletkenlik ölçümleri.



Şekil 3.23: İğne yaprak segmentlerinin otoklavlanarak tamamen öldürülmesi.



Şekil 3.24: Örneklerde otoklavma işlemi sonrasında son elektriksel iletkenlik ölçümleri.

Her sıcaklık kademesinde orijinleri temsil eden örneklerden ilk ve son elektriksel iletkenlik ölçümleri yardımı ile fidanlara ait Relatif İletkenlik (RC) değerleri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır. Relatif iletkenlik dondan oluşan zarar miktarını belirtmektedir.

$$RC = \frac{\text{İlk okuma}}{\text{Son okuma}} \times 100 \quad (3.6)$$

Tablo 3.10: Orijinlere ait elektiriksel iletlenlik ölçüm tablosu.

Orijin:	Tür:	Sıcaklık Kademesi °C	Tarih:
Fidan no:	İlk Okuma	Son Okuma	Relatif İletkenlik (RC)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

İyon sızıntısı yönteminde elektiriksel iletkenlik ölçümleri her bir orijinde 5 tekrarlı olacak şekilde planlanmıştır. Her bir tekerrürdeki veriler 4 fidanın ölçüm değerleri ortalaması alınarak elde edilmiştir (Toplam 20 fidan). Değişik orijin ve sıcaklık kademelerinden elde edilen verilerinin değerlendirilmesinde Varyans Analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır. Bazı orijinlerde Levene testi sonucu grupların varyansları arasında önemli farklılık tespit edildiğinden, değerlere karekök veya logaritma dönüşümü uygulanarak her orijin kendi sıcaklık grupları arasında test edilmiş ve gruplar buna göre oluşturulmuştur. Varyans analizleri sonucunda orijin ve sıcaklık düzeyleri arasında belirlenen anlamlı farklar Tukey testi ile denetlenmiştir.

3.2.2.4. Klorofil Floresans Yöntemi ile Don Zararının Belirlenmesi

Klorofil floresans (CF) yöntemi bitki ekofizyolojisi çalışmalarında, çeşitli stres faktörlerinin bitki üzerindeki etkilerini belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. CF testi, Flss (floresans soğutma sistemi) ile yapraktan uzaklaştırılan ışık miktarının ölçümüne dayanmaktadır. Klorofil floresans ölçümlerinde stres koşulları altındaki bitkilerde fotosentetik aktivitenin belirlenmesinde en yaygın kullanılan oran F_v/F_m oranıdır. Bu oran PSII de absorblanan ışığın maksimum verimidir ve normal koşullar altındaki bitkide $0,832 \pm 0,004$ olduğu ve bu değerin stres koşullarında azaldığı bildirilmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Kocheva ve diğ., 2004; Semerci, 2005).

Yöntem kapsamında kış ve ilkbahar testlerinde; soğutma kabininden hedeflenen sıcaklık kademesinden ve kontrol grubundan alınan fidanlar öncelikle 5 saat süreyle 1500 lux ışık şiddeti altında bekletilmişlerdir. Daha sonra ibrelere takılan klipsler yardımıyla 30 dakika karanlığa adapte işlemi sağlanmıştır. Karanlığa adapte işlemi sonrası ise oda sıcaklığında fidanlarda klorofil floresans ölçümleri klorofil florometre (OptiScience OS-30P) cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.25 ve 26). Ölçümler sonucu elde edilen, Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m), Minimum floresans (F_o) ve Maksimum floresans (F_m) parametreleri ilgili CF ölçüm tablolarına kaydedilmiştir (Tablo 3.11).



Şekil 3.25: Kışın don testlerinde klorofil florometre ölçümleri.



Şekil 3.26: İlkbahar don testlerinde klorofil florometre ölçümleri.

Tablo 3.11: Orijinlere ait klorofil floresans ölçüm değerleri tablosu.

Tür:		Sıcaklık kademesi:	
Orijin:		Tarih:	
Fidan no:	Ölçülen Parametreler		
	F_v/F_m	F_0	F_m
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Klorofil floresans yönteminde ölçümler yine her orijinde 5 tekrarlı olacak şekilde planlanmıştır. Her tekerrürdeki veriler 4 fidanın ölçüm değerleri ortalaması alınarak elde edilmiştir (Toplam 20 fidan). Değişik orijin ve sıcaklık kademelerinden elde edilen F_v/F_m , F_0 ve F_m değerlerine ait verilerinin değerlendirilmesinde Varyans Analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır. Bazı orijinlerde Levene testi sonucu grupların varyansları arasında önemli farklılık tespit edildiğinden, değerlere karekök veya logaritma dönüşümü uygulanarak her orijin kendi sıcaklık grupları arasında test edilmiş ve gruplar buna göre oluşturulmuştur. Varyans analizleri sonucunda orijin ve sıcaklık düzeyleri arasında belirlenen anlamlı farklar Tukey testi ile denetlenmiştir.

3.2.2.5. Görsel Değerlendirme Yöntemi ile Don Zararının Belirlenmesi

Anadolu Karaçamında kış ve ilkbahar döneminde uygulanan don testlerinde, değişik sıcaklık kademelerine tabi tutulan ve kontrol gruplarına ait fidanlar laboratuvarında gerekli ölçümlerin ardından görsel değerlendirme yöntemi için İ.Ü. Orman Fakültesi bahçesinde 15 gün süre ile gözetim altında tutularak oluşan zarar miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.26). Bilindiği gibi dondan zarar gören dokularda kahverengi ve sarımsı renk oluşumu gözlenmektedir. Ayrıca zararın diğer bir görsel belirtisi de dokulardaki yumuşaklık ve sulu görünümüdür (Ritchie, 1984; Semerci, 2005).

Yöntem ile kış ve ilkbahar döneminde uygulanan don testlerinde, yine her sıcaklık kademesi ve kontrol grubunda her orijin için 20 adet fidan değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca ilbahardaki don testinde yapılan görsel değerlendirme sırasında vejetasyon mevsiminin başlaması nedeniyle fidanlarda gün aşırı sulama ve gerekli bakım işlemleri de yapılmıştır. Fidanlarda meydana gelen zarar miktarını ölçmek için öncelikle fidan gözlem çizelgesi oluşturulmuştur. 15. günün sonunda, orijinlere ait fidanlarda oluşan renk değişimi ve tepe tomurcuklarına bakılarak fidanlar 3 farklı kategoriye (Sağlıklı, %50 zarar görmüş ve ölmüş) ayrılmış ve sayımları buna göre yapılarak fidan gözlem çizelgelerine işlenmiştir. Kış testlerine ait fidan gözlem çizelgesi Tablo 3.12'de örnek olarak verilmiştir. Kış ve ilkbahar testleri için oluşturulan bu çizelgelerden ilgili sıcaklık kademelerinde, orijinlere ait sağlıklı ve zarar görmüş fidan sayıları üzerinden fidanların yaşama yüzdeleri belirlenmiştir.



Şekil 3.27: Fidanların görsel değerlendirme için gözlem altında tutulması.

Tablo 3.12: Görsel değerlendirme yönteminde kullanılan fidan sayım çizelgesi

No	Orijinler	Sıcaklık Kademeleri				
		Kontrol	-20 °C	-25 °C	-30 °C	-40 °C
1	Kargı	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:
2	Çerkeş	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:
3	Dirgine	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:
4	Kızılcahamam	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:
5	Nallıhan	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:
6	Karaman	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:
7	Yozgat	A:	A:	A:	A:	A:
		B:	B:	B:	B:	B:
		C:	C:	C:	C:	C:

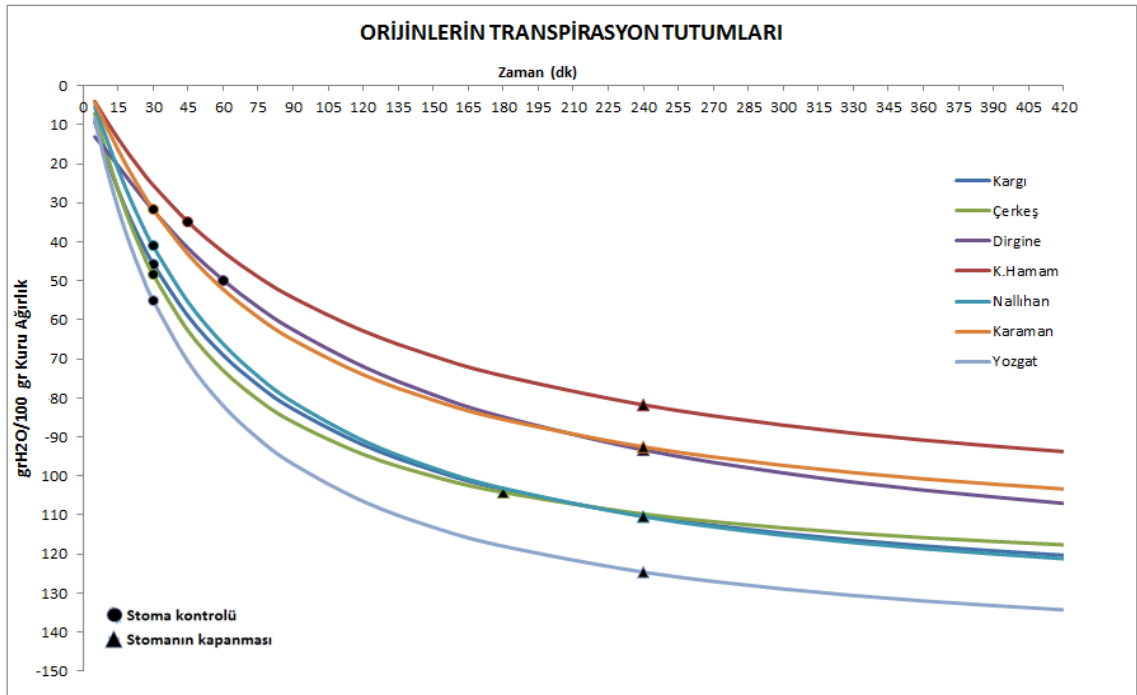
*A: Sağlıklı fidan sayısı, B: %50'si zarar görmüş fidan sayısı, C: Ölmüş fidan sayısı

4. BULGULAR

4.1. KURAKLIĞA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT BULGULAR

4.1.1. Orijinleri Temsil Eden Fidanların Transpirasyon Tutumları

Anadolu Karaçam'ında 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 orijinin transpirasyon tutumlarını ortaya koyan ve transpirasyon miktarı ile zaman ilişkisini gösteren eğriler Şekil 4.1'de sunulmuştur. Bu eğrilerden ve su potansiyeli ölçümlerinden yararlanarak belirlenen ortalama parametrelere ait değerler ise Tablo 4.1'de sunulmuştur. Ayrıca her bir orijinin transpirasyon miktarı ile zaman ilişkisini gösteren eğriler ekler bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.1: Orijinlerin transpirasyon miktarı-zaman ilişkisine ait eğrileri içeren grafik.

Orijinlere ait tam doygun haldeki fidan örneklerinin zamana bağlı transpirasyon aşamaları (Şekil 4.1)'de görülmektedir. Söz konusu şekil üzerinde de görüleceği üzere su kaybının doğrusal ve fazla olduğu ilk noktalar transpirasyonun ilk aşamasını oluşturmakta, bunu stomaların kapanmaya başlaması (stoma kontrolü) ile eğrisel bir

ilişki gösteren ikinci aşama takip etmektedir. Stomalar tamamen kapandıktan sonra ilişki tekrar doğrusal bir nitelik kazanmaktadır ki bu da üçüncü aşamayı göstermektedir. Söz konusu bu üçüncü ve son aşamada su kaybı minimum olup yalnızca kütükula yolu ile olmaktadır.

Stoma kontrollerinin başlamasına kadar geçen süre (T_1) ile ilgili olarak Tablo 4.1'deki değerlerden görüleceği üzere, üç değer ortaya çıkmıştır. Buna göre; Kargı, Çerkeş, Nallıhan, Karaman ve Yozgat orijinleri 30. dakikada stoma kontrolüne başlarken, Kızılcahamam orijini 45. dakikada, Dirgine orijini ise 60. dakikada stoma kontrolüne başlayabilmiştir.

Orijinler stoma kontrolünün başladığı andaki su potansiyeli değerleri (Ψ_{w1}) bakımından incelendiğinde, en yüksek su potansiyeline sahip orijinin Çerkeş (-9.5 bar) olduğu görülmektedir. Bu orijini sırasıyla, Karaman (-10.0), Kargı (-10.5 bar), Kızılcahamam (-12.0 bar), Nallıhan (-12.5 bar), Yozgat (-13.5 bar) ve en düşük su potansiyeline sahip Dirgine orijini (-18.0 bar) izlemektedir.

Stoma kontrolünün başlamasına kadar geçen süre içerisinde, transpirasyonla kaybedilen birikimli su miktarı (S_{ctf}) bakımından ise orijinler, en düşük değerden en yüksek değere (grH₂O/100 gr. Kuru Ağ.) doğru; Kızılcahamam (37.27), Karaman (37.68), Kargı (45.92), Çerkeş (49.00), Nallıhan (49.98), Yozgat (51.83) ve Dirgine (55.37) şeklinde sıralanmıştır.

Stoma kontrolü başladığı andaki orijinlerin içsel su durumlarını yansıtan oransal su içeriği (R_{wcl}) değerleri (%) bakımından da orijinler arasında; Kızılcahamam (84.83), Karaman (84.69), Çerkeş (84.67), Kargı (81.82), Nallıhan (81.01), Yozgat (80.47) ve Dirgine (79.55) şeklinde bir sıralama olmuştur. Bu sıralama değerlerine bakıldığında, stoma kontrolüne erken başlayan Çerkeş, Kızılcahamam ve Karaman orijinlerinin transpirasyon tutumu bakımından iyi bir performans göstererek oransal olarak daha az su kaybettikleri görülmektedir. Bu orijinleri Kargı, Nallıhan ve Yozgat takip etmektedir. Stoma kontrolüne en geç başlayan Dirgine orijini ise daha fazla miktarda su kaybına uğramıştır.

Tablo 4.1: Anadolu Karaçamı orijinlerinin transpirasyon tutumlarına ait bazı parametreler bakımından durumları.

Orijinler	T _I (dakika)	Ψ _{w1} (bar)	T _{II} (dakika)	Ψ _{w2} (bar)	Sct _I (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ.)	Sct _{II} (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ.)	Sct _{I+II} (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ.)	Scüt (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ./dakika)	Rwc _I (%)	Rwc _{II} (%)
Kargı	30	-10.5	240	-26.0	45.92	110.60	156.52	0.067	81.82	58.46
Çerkeş	30	-9.5	180	-25.5	49.00	105.88	154.88	0.036	84.67	62.21
Dirgine	60	-18.0	240	-36.5	55.37	98.45	153.82	0.135	79.55	61.86
Kızılcahamam	45	-12.0	240	-29.5	37.27	82.97	120.24	0.061	84.83	66.44
Nallıhan	30	-12.5	180	-23.5	49.98	102.69	152.67	0.062	81.01	58.92
Karaman	30	-10.0	240	-21.0	37.68	93.33	131.01	0.067	84.69	62.06
Yozgat	30	-13.5	240	-27.5	51.83	122.15	173.98	0.064	80.47	56.24

T_I : Stoma kontrolüne kadar geçen süre
T_{II} : Stomalar kapanana kadar geçen süre
Ψ_{w1} : Stoma kontrolü başladığı andaki su potansiyeli
Ψ_{w2} : Stomaların kapandığı andaki su potansiyeli
Sct_I : Stoma kontrolüne kadarki birikimli transpirasyon

Sct_{II} : Transpirasyonun ikinci aşamasındaki birikimli transpirasyon
Sct_{I+II} : Stomalar kapanana kadarki birikimli transpirasyon
Scüt : Kütikular transpirasyon
Rwc_I : Stoma kontrolü başladığı andaki oransal su içeriği
Rwc_{II} : Stomalar kapandığı andaki oransal su içeriği

Traspirasyonun ikinci aşamasında, Orijinlerin transpirasyon tutumları ilgili değerlerde Tablo 4.1’de açıklanmıştır. Söz konusu aşama (T_{II}) ile Nallıhan ve Çerkeş orijinleri stomalarını 180. dakikada kapatırken diğer orijinlerin tümü stomalarını 240. dakika kapatmışlardır.

Stomaların kapandığı andaki su potansiyeli (Ψ_{w2}) değerleri (bar) bakımından ise orijinler, en yüksek değerden en düşük değere göre; Karaman (-21.0 bar), Nallıhan (-23.5 bar), Çerkeş (-25.5 bar), Kargı (-26.0 bar), Yozgat (-27.5 bar), Kızılcahamam (29.5 bar) ve Dirgine (-36.5 bar) şeklinde sıralanmıştır.

Traspirasyonun ikinci aşaması sonunda (S_{ctII}) gerçekleştirilen birikimli transpirasyon miktarı ($grH_2O/100$ gr. Kuru Ağ.) en fazla olan yani en fazla su kaybeden orijin Yozgat’tır (173.98). Bu orijini sırası ile Kargı (156.52), Çerkeş (154.88), Dirgine (153.82), Nallıhan (152.67), Karaman (131.01) ve en az su kaybeden Kızılcahamam (120.24) orijini izlemiştir.

Stomalar kapandığı andaki oransal su içerikleri bakımından (R_{wctII}) ise en yüksek oransal su içeriğine (%) sahip orijin Kızılcahamam’dır (66.44). Bu orijinden sonra sıralama Çerkeş (62.21), Karaman (62.06), Dirgine (61.86), Nallıhan (58.92), Kargı (58.46) ve Yozgat orijini (56.24) şeklinde olmuştur. Saptanan değerlere göre ikinci aşama sonunda oransal olarak daha az su kaybeden orijinler Kızılcahamam, Çerkeş ve Karaman olarak sıralanabilir. En fazla suyu ise Yozgat orijini kaybetmiştir.

Traspirasyonun üçüncü aşamasında yani stomalar tamamen kapandıktan sonra kütiküler yolla birim zamanda (dakika) en az su kaybını ($grH_2O/100$ gr. Kuru Ağ.) Çerkeş orijininin (0,036) en fazla su kaybını ise Dirgine orijininin (0,135) gerçekleştirdiği yine Tablo 4.1’den anlaşılmaktadır.

Traspirasyon analizinde ele alınan parametrelerin aralarındaki ilişkilerin önem derecesini ortaya koymak için yapılan Pearson’un korelasyon analizine ilişkin bulgular ise Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2: Anadolu Karaçamı orijinlerinin transpirasyon tutumlarına ait parametrelerin (Değişkenler) aralarındaki ilişkilerin önem derecesini gösteren Pearson'un korelasyon analizi sonuçları.

Değişkenler	Ψ_{w1}	Ψ_{w2}	S_{ctI}	S_{ctII}	S_{ctI+II}	$S_{cüt}$	R_{WcI} (%)	R_{WcII} (%)
Ψ_{w1} (bar)	1.000							
Ψ_{w2} (bar)	0.865*	1.000						
S_{ctI} (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ.)	-0.507	-0.407	1.000					
S_{ctII} (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ.)	0.429	0.481	0.480	1.000				
S_{ctI+II} (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ.)	0.129	0.207	0.748	0.941**	1.000			
$S_{cüt}$ (grH ₂ O/100 gr Kuru Ağ./dakika)	-0.913**	-0.758*	0.451	-0.306	-0.058	1.000		
R_{wcl} (%)	0.720	0.443	-0.742	-0.173	-0.417	-0.667	1.000	
R_{wclI} (%)	-0.427	-0.670	-0.270	-0.843*	-0.741	0.373	0.281	1.000

* p<0,05

** p<0,01

Ψ_{w1} : Stoma kontrolü başladığı andaki su potansiyeli

Ψ_{w2} : Stomaların kapandığı andaki su potansiyeli

S_{ctI} : Stoma kontrolüne kadarki birikimli transpirasyon

S_{ctII} : Transpirasyonun ikinci aşamasındaki birikimli transpirasyon

S_{ctI+II} : Stomalar kapanana kadarki birikimli transpirasyon

$S_{cüt}$: Kütiküler transpirasyon

R_{wcl} : Stoma kontrolü başladığı andaki oransal su içeriği

R_{wclI} : Stomalar kapandığı andaki oransal su içeriği

Söz konusu tablodan görüldüğü üzere, Stoma kontrolünün başladığı andaki su potansiyeli değeri (Ψ_{w1}) ile stomaların kapandığı anda ölçülen su potansiyeli değeri (Ψ_{w2}) arasında pozitif bir ilişki vardır. Genelde transpirasyonun aşamalarına bağlı olarak su kayıpları ile birlikte su potansiyeli değerleri küçülmüştür. Yine stoma kontrolünün başladığı andaki su potansiyeli değeri (Ψ_{w1}) ile kütikular transpirasyon (S_{cut}) arasında çok kuvvetli negatif bir ilişki söz konusudur. Stoma kontrolü sırasındaki su potansiyeli değeri büyük olan orijinler kütikular yolla daha az su kaybetmişlerdir. (Tablo 4.1). Stomalar kapandığı andaki su potansiyeli değeri (Ψ_{w2}) ile kütikular transpirasyon (S_{cut}) arasında negatif bir ilişki söz konusudur.

Transpirasyonun ikinci aşamasındaki birikimli transpirasyon değeri (S_{ctII}) ile stomalar kapanana kadarki birikimli transpirasyon (S_{ctI+II}) arasında kuvvetli pozitif bir ilişki söz konusudur (Tablo 4.2). Ayrıca birikimli transpirasyon değeri (S_{ctII}) ile bu aşamadaki oransal su içeriği (R_{wcII}) değeri arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. İkinci aşamadaki en az suyu kaybeden orijinlerin genelde ikinci aşama sonunda oransal su içeriklerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Transpirasyonun ikinci aşamasındaki su kayıpları stomaların açıklık düzeyini düzenlemekte ve dolayısı ile stomaların kapanmasında etkili olmaktadır.

Transpirasyon analizinin ilk iki aşamasında daha iyi tutum sergileyen orijinler parametrelere göre şu şekilde sıralanmıştır.

Transpirasyonun birinci aşamasında; Stoma kontrolü başladığında su potansiyeli değerleri bakımından (Ψ_{w1}) en iyi tutumu sergileyen ilk üç orijin Çerkeş, Karaman ve Yozgat, Birikimli transpirasyon bakımından (S_{ctI}) Kızılcahamam, Karaman ve Kargı, Oransal su içeriği bakımından (R_{wcI}) ise Kızılcahamam, Karaman ve Çerkeş'tir.

Transpirasyonun ikinci aşamasında; stomaların kapandığı anda ki su potansiyeli değerleri bakımından (Ψ_{w2}) en iyi tutumu sergileyen ilk üç orijin Karaman, Yozgat ve Nallıhan, Birikimli transpirasyon bakımından (S_{ctI+II}); Kızılcahamam, Karaman ve Nallıhan, Oransal su içeriği bakımından (R_{wcII}) ise Kızılcahamam, Çerkeş ve Karamandır.

4.1.2. Basınç-Hacim (P-V) Eğrisi Analizi İle Orijinlerin Kuraklığa Toleransları

Anadolu Karaçamında 7 orijine ait toplam 21 adet basınç-hacim eğrilerinden elde edilen çeşitli parametrelerin ortalama değerleri Tablo 4.3’de topluca sunulmuştur.

Söz konusu orijinlerden iki adet fidana ait basınç-hacim eğrisi Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de örnek olarak verilmiştir. Orijinlere ait bazı fidanları temsil eden basınç-hacim eğrileri ise ek bölümündeki şekillerde sunulmuştur.

Tablo 4.3 incelendiğinde; Tam doygun haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 100}$) değeri (bar) en yüksek olan orijin Dirgine’dir (-12.09). Bu orijini sırası ile Çerkeş (-14.39), Kargı (-14.53), Yozgat(-14.54), Nallıhan (-14.92), Kızılcahamam (-15.29) ve en düşük değere sahip Karaman (-15.31) orijini izlemiştir. Daha önce de açıklandığı gibi tam doygun haldeki bitki hücrelerinde ozmotik potansiyel değeri, turgor potansiyelinin negatif eşdeğerine sahiptir. O zaman yukarıda belirlenen sıralamanın tam tersi dikkate alındığında, Karaman, Kızılcahamam ve Nallıhan orijinleri yüksek bir turgor basıncına sahip olup su kayıplarına karşı daha iyi bir tutum sergilemişlerdir. Dirgine orijini ise en zayıf tutumu sergilemiştir.

Sıfır turgor ya da solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 0}$) değerleri (bar) bakımından en düşük değer Nallıhan (-32.97) orijinine aittir. Bu orijini sırasıyla Karaman (-32.61), Kızılcahamam (-30.28), Çerkeş (-28,80), Kargı (-28.45), Yozgat (-28.41) ve en yüksek değer ile Dirgine (-26.28) orijini takip etmiştir. Bilindiği gibi ozmotik potansiyelin düşük olması su kayıplarına karşı direncin artmasını ifade etmektedir.

Düşük ozmotik değerleri ile Nallıhan, Karaman ve Kızılcahamam orijinleri iyi bir tutum sergilemişlerdir. Solma noktasındaki ozmotik potansiyel değeri ($\Psi_{\pi 0}$), toplam su potansiyeli değerine eşit olduğu dikkate alındığında yine negatif eşdeğerleri olarak Dirgine orijininin en düşük su potansiyeli değerine sahip olduğu görülmektedir.

En yüksek elastikiyet modülü (E_{max}), değerleri bakımından ise, en yüksek değerden en düşük değere doğru orijinler (bar), Karaman (12.12), Nallıhan (11.55), Kızılcahamam (11.38), Kargı (11.02), Yozgat (10.52), Çerkeş (9.30) ve Dirgine (8.46) şeklinde sıralanmışlardır.

Tablo 4.3: Anadolu Karaçamı orijinlerinde basınç-hacim (P-V) eğrisi yöntemi ile belirlenen parametrelere ait ortalama değerler.

Orijinler	$\Psi_{\pi 100}$ (bar)	$\Psi_{\pi 0}$ (bar)	E_{max} (bar)	V_o/V_T (%)	V_o/D_w (gr/ gr)	V_e/V_o (%)	RWCzt (%)
Kargı	-14.53 ± 0.93	-28.45 ± 1.46	11.02 ± 0.90	40.87 ± 6.21	0.841 ± 0.09	53.63 ± 1.83	77.89 ± 3.96
Çerkeş	-14.39 ± 0.89	-28.80 ± 1.75	9.30 ± 1.78	30,16 ± 1.95	0.745 ± 0.03	51.75 ± 2.33	84.41 ± 1.06
Dirgine	-12.09 ± 1.52	-26.28 ± 2.88	8.46 ± 1.86	27.24 ± 4.63	0.717 ± 0.08	55.50 ± 3.35	80.11 ± 1.87
Kızılcahamam	-15.29 ± 1.24	-30.08 ± 1.11	11.38 ± 1.41	29.55 ± 0.62	0.708 ± 0.04	52.37 ± 2.70	84.54 ± 0.70
Nallıhan	-14.92 ± 2.04	-32.97 ± 0.36	11.55 ± 1.54	32.16 ± 1.62	0.788 ± 0.05	52.55±1.60	81.17 ± 1.19
Karaman	-15.31 ± 0.29	-32.61 ± 0,36	12.12 ± 0,44	37.69 ± 1.64	0.897 ± 0.05	51.27 ± 0.35	79.92 ± 0.94
Yozgat	-14.54 ± 0.90	-28.41 ± 0.28	10.52 ± 0.50	31.36 ± 4.49	0.782 ± 0.15	54.01 ± 5.10	82.67 ± 3.92

$\Psi_{\pi 100}$: Tam doygun haldeki ozmotik potansiyel

$\Psi_{\pi 0}$: Solma noktasındaki ozmotik potansiyel

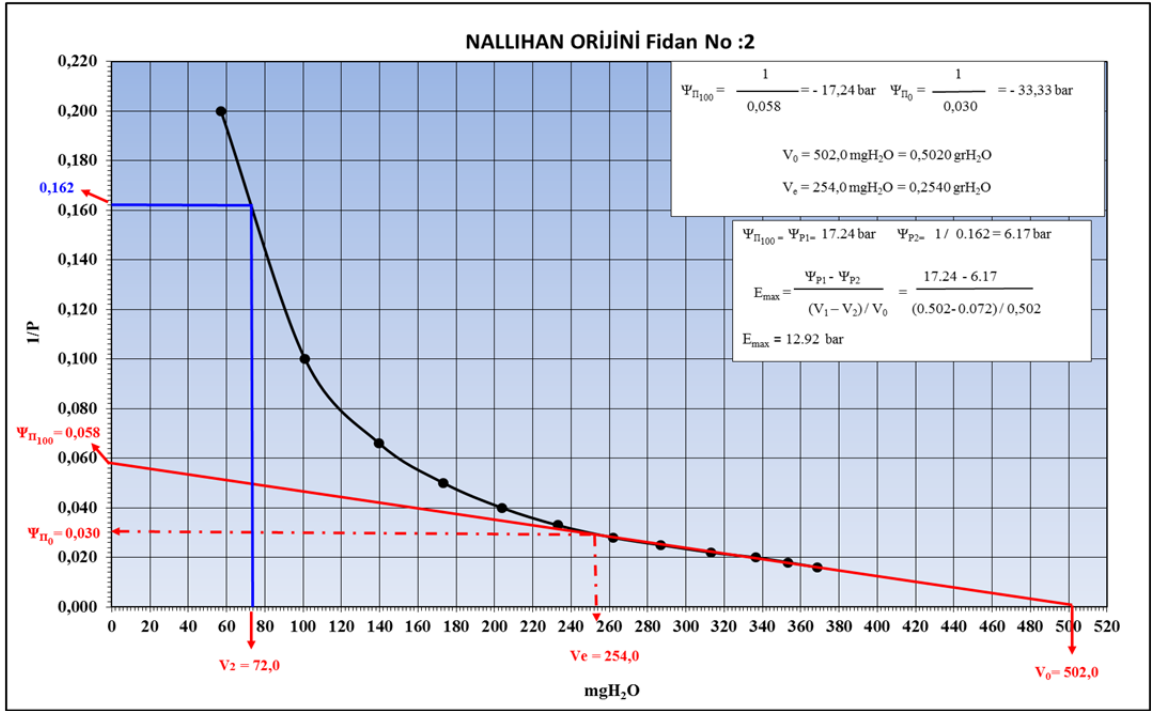
E_{Max} : En yüksek elastik modül

V_o/V_T : Simplastik su oranı

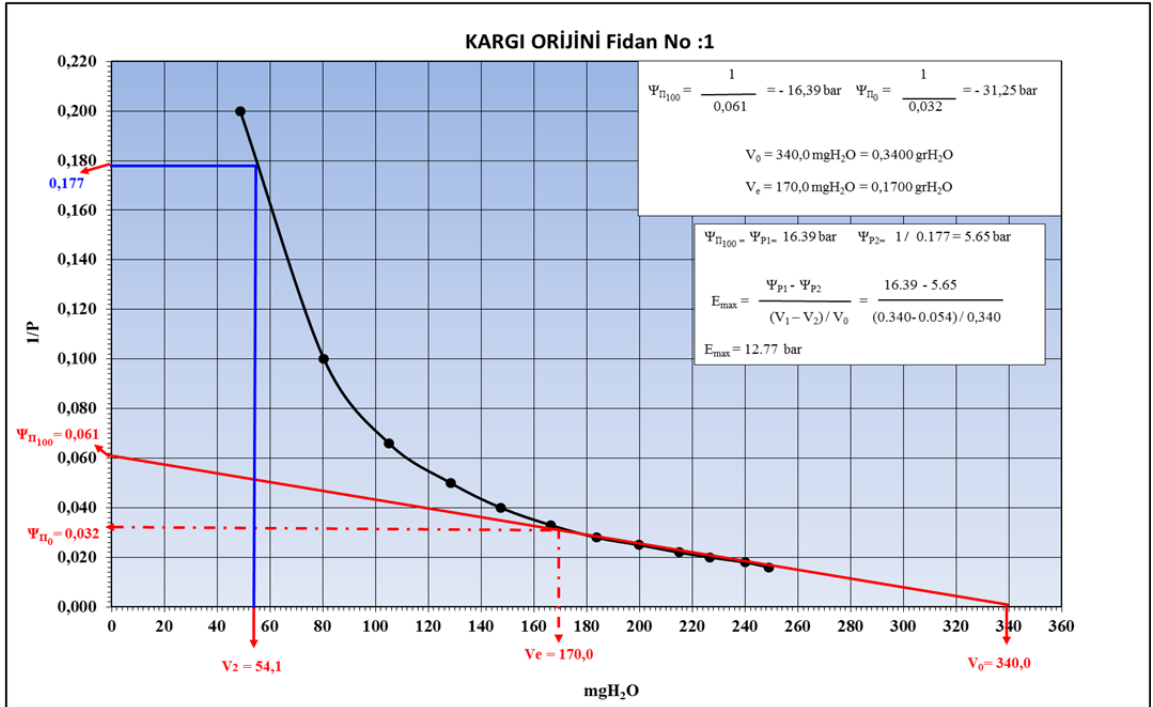
V_o/D_w : Birim kuru ağırlığa düşen simplastik su oranı

V_e/V_o : Solma noktasına kadar çıkan simplastik su oranı

R_{WCzt} : Solma noktasındaki oransal su içeriği



Şekil 4.2: Nallihan orijini 2 numaralı fidan örneğine ait basınç-hacim (P-V) eğrisi.



Şekil 4.3: Kargı orijini 1 numaralı fidan örneğine ait basınç-hacim (P-V) eğrisi.

Hücre elastik modülünün yüksek olması ile hücre çeperi daha az elastik olmakta ve bu tip hücreler su kayıplarına karşı daha dirençli olup daha geç deforme olmaktadır. Görüldüğü üzere E_{max} değerleri diğer orijinlere kıyasla daha yüksek olan Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinleri su kayıplarına karşı daha iyi bir tutum sergilemişlerdir.

Toplam su içerisindeki simplastik su oranı (V_0/V_t) bakımından da (%) orijinler arasında; en yüksek değerden en düşük değere doğru Kargı (40.87), Karaman (37.69), Nallıhan (32.16), Yozgat (31.36), Çerkeş (30.16), Kızılcahamam (29.55) ve Dirgine (27.24) şeklinde bir sıralama meydana gelmiştir.

Birim kuru ağırlık başına düşen simplastik su oranı (V_0/D_w) bakımından ise en düşük değere (gr) Kızılcahamam orijini (0.708) sahipken bunu sırası ile Dirgine (0.717), Çerkeş (0.744), Yozgat (0.782), Nallıhan (0.788), Kargı (0.841) ve Karaman (0.897) orijinleri izlemiştir. Bu verilere göre solma noktasındaki ozmotik potansiyel değerleri ($\Psi_{\pi 0}$) düşük olan orijinlerin genelde birim kuru ağırlığa düşen simplastik su oranlarının diğer orijinlere göre yüksek olduğu gözlenmektedir.

Solma noktasına kadar kaybedilen simplastik su oranı (V_e/V_0) bakımından da orijinler (%); Dirgine (55.50), Yozgat (54.01), Kargı (53.63), Nallıhan (52.55), Kızılcahamam (52.37), Çerkeş (51.75) ve Karaman (51.27) şeklinde sıralanmıştır. Değerlerden anlaşılacağı üzere Dirgine, Yozgat ve Kargı orijinleri oransal olarak daha fazla simplastik su kaybetmişlerdir. Yani hücreleri içerisinde oransal olarak daha az suyu tutabilmişlerdir.

Son olarak solma noktasındaki oransal su içeriği (R_{WCz}) bakımından orijinlere ait elde edilen bulgular (%) bağlamında en yüksek Kızılcahamam (84.54) olurken onu, Çerkeş (84.41), Yozgat (82.67), Nallıhan (81.17), Dirgine (80.11), Karaman (79.92) ve en düşük Kargı (77.89) orijini şeklinde bir sıralama takip etmektedir.

P-V eğrisinden elde edilen parametrelerin aralarındaki ilişkilerin önem derecesini ortaya koymak için Pearson'un korelasyon analizi yapılmıştır. Analizine ilişkin bulgular Tablo 4.4'te sunulmuştur.

Tablo 4.4: Anadolu Karaçamı orijinlerinin basın hacim (P-V) eğrilerine ilişkin çeşitli parametrelerin aralarındaki ilişkilerin önem derecelerini gösteren Pearson'un Korelasyon Analizi sonuçları.

Değişkenler	$\Psi_{\pi 100}$ (bar)	$\Psi_{\pi 0}$ (bar)	E_{max} (bar)	V_o/V_t (%)	V_o/DW (gr/gr)	V_e/V_o (%)	RWCzt (%)
$\Psi_{\pi 100}$ (bar)	1.000						
$\Psi_{\pi 0}$ (bar)	0.648**	1.000					
E_{max} (bar)	-0.824**	-0.749**	1.000				
V_o/V_t (%)	-0.173	-0.274	0.338	1.000			
V_o/DW (gr/gr)	-0.092	-0.252	0.250	0.858**	1.000		
V_e/V_o (%)	0.721**	0.051	-0.365	-0.085	-0.066	1.000	
RWCzt (%)	-0.090	0.258	-0.198	-0.929**	-0.785**	-0,287	1.000

* p<0,05, ** p<0,01

Söz konusu tablodan anlaşılacağı üzere tam turgor haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 100}$) ile solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 0}$) değeri arasında anlamlı, kuvvetli pozitif bir ilişki vardır. Yani $\Psi_{\pi 100}$ düşük olan orijinlerin $\Psi_{\pi 0}$ değerleri de genelde düşüktür. Tam turgor haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 100}$) ile En yüksek elastikiyet modülü (E_{max}) değeri arasında ise anlamlı negatif, kuvvetli bir ilişki söz konusudur. $\Psi_{\pi 100}$ değeri düşük olan orijinlerin kuraklığa dayanıklılığın bir mekanizması olan E_{Max} değerleri yüksek olmaktadır. Yine aynı şekilde solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 0}$) ile E_{max} değeri arasında anlamlı negatif, kuvvetli bir ilişki söz konusudur.

Tam turgor haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi 100}$) ile solma noktasına kadar kaybedilen simplastik su oranı (V_e/V_o) arasında anlamlı pozitif, kuvvetli bir ilişki söz konusudur. Yani $\Psi_{\pi 100}$ değeri yüksek olan orijinler oransal olarak daha fazla su kaybetmişlerdir. Toplam su içerisindeki simplastik su oranının (V_o/V_t), birim kuru ağırlık başına düşen simplastik su oranı (V_o/DW) ile anlamlı, pozitif kuvvetli bir ilişki, solma noktasındaki oransal su içeriği (R_{WCzt}) ile anlamlı, kuvvetli fakat negatif bir ilişki söz konusudur. Bu durumda Anadolu Karaçamında bir orijinin simplastik su oranı fazlalaştıkça, bu orijinin birim kuru ağırlık başına tuttuğu simplastik su miktarı artmaktadır. Yine bu tip orijinler solma noktasında daha düşük oransal su içeriklerine sahip olmaktadırlar. V_o/DW oranı ile R_{WCzt} oranı arasında ise anlamlı kuvvetli, negatif bir ilişki söz konusudur.

4.2. DONA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT BULGULAR

4.2.1. Kış Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testlerine Ait Bulgular

4.2.1.1. Kış Mevsiminde İyon Sızıntısı Yöntemine Ait Bulgular

Bilindiği gibi, dondan zarar gören hücreler seçici geçirgenliklerini gördükleri zararla orantılı olarak kaybetmekte ve bunun sonucunda hücre içerisindeki iyonlar hücre dışına sızmaktadır (Sutinen ve diğ., 1992; Burr ve diğ., 2001; Hirondelle ve diğ., 2006). Bu sızıntının ölçülebilmesi zararların hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Belirtildiği gibi dondan oluşan zarar Relatif iletkenlik (RC) olarak ifade edilmektedir. Relatif iletkenliğin yüksek olması dona dayanıklılığın düşük olduğunu göstermektedir.

Gerçekleştirilen İyon sızıntısı yönteminde, kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin RC değerlerine olan etkisini gösteren Varyans Analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri ⁰ C						F _(4,20)	P
	Kontrol	-20	-25	-30	-40			
Kargı	8.88 A	15.83 B	39.54 C	55.19 D	70.80 E	175.044	0.000	
Çerkeş	11.96 A	22.07 B	42.80 C	46.67 C	68.91 D	102.513	0.000	
Dirgine	10.64 A	25.10 B	54.07 C	64.07 D	73.63 E	236.479	0.000	
Kızılcahamam	10.04 A	24.17 B	45.52 C	60.03 D	74.52 E	183.473	0.000	
Nallıhan	10.88 A	20.89 B	44.18 C	57.88 D	74.10 E	145.588	0.000	
Karaman	8.58 A	19.42 B	29.70 C	53.41 D	69.51 E	137.318	0.000	
Yozgat	8.50 A	17.51 B	48.49 C	65.31 D	72.50 E	501.080	0.000	

*Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içindeki sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir (p<0,05).

Tablo 4.5 incelendiğinde; tüm orijinlerin RC değerlerinin kontrol gruplarından önemli düzeyde farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Yine ilgili tabloda fidanlar orijinlerine göre ele alındığında; Kargı, Dirgine, Kızılcahamam, Nallıhan, Karaman ve Yozgat orijinli fidanların tüm sıcaklık kademelerinde farklı RC değerlerine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Ancak Çerkeş orijinli fidanlarda ise -25 ⁰C ve -30 ⁰C'deki sıcaklık kademelerinde RC değerlerinde önemli düzeyde farklılık bulunmamaktadır. Bunun

yanında aynı orijinin -20°C ve -40°C de elde edilen RC değerleri ise önemli düzeyde bir birinden farklıdır. Bu durumda söz konusu orijinin -30°C sıcaklık derecesine kadar dayanıklı olduğu söylenebilir.

Ayrıca kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$				
	Kontrol	-20	-25	-30	-40
Kargı	8.88 a	15.83 a	39.54 b	55.19 ab	70.80 a
Çerkeş	11.96 c	22.07 ab	42.80 bc	46.67 a	68.91 a
Dirgine	10.64 bc	25.10 b	54.07 c	64.07 b	73.63 a
Kızılcahamam	10.04 ab	24.17 b	45.52 bc	60.03 b	74.52 a
Nallıhan	10.88 bc	20.89 ab	44.18 bc	57.88 ab	74.10 a
Karaman	8.58 a	19.42 ab	29.70 a	53.41 ab	69.51 a
Yozgat	8.50 a	17.51 ab	48.49 bc	65.31 b	72.50 a
F _(6,28)	12.686	3.371	8,423	4.512	1.578
P	0.000	0.013	0.000	0.003	0.19

*Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir (p<0,05)

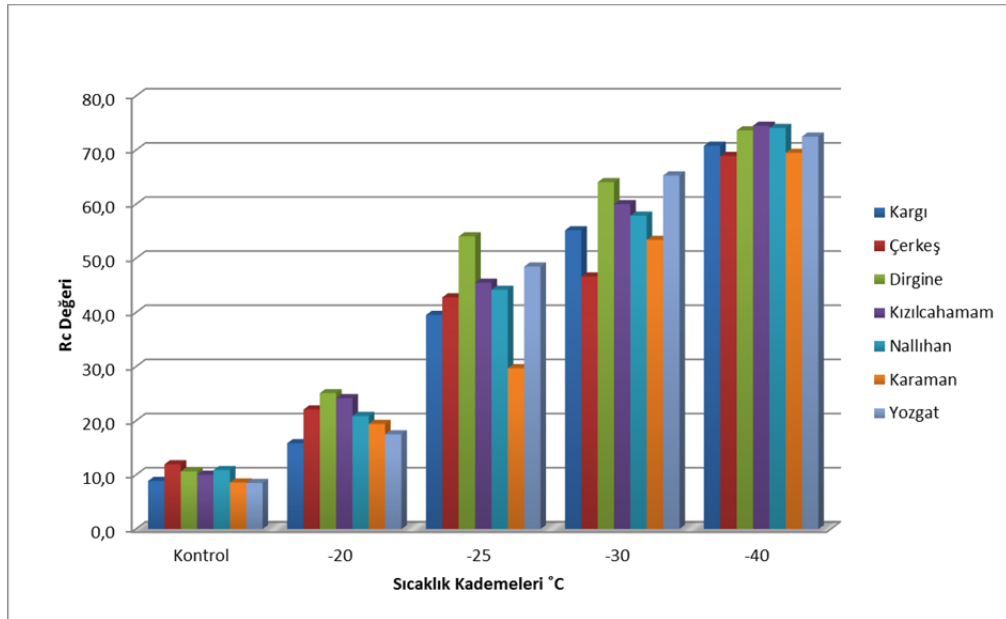
Farklı sıcaklık kademelerinde, değişik orijinli fidanların RC değerleri ele alındığında, Her orijindeki kontrol örnekleri arasında üç farklı grup oluşmuştur (Tablo 4.6). Buna göre en düşük RC değerlerine sahip olan Kargı, Karaman ve Yozgat orijinleri birinci grupta; Kızılcahamam orijini hem birinci hem de ikinci grupta, Nallıhan ve Dirgine orijinleri hem ikinci hem de üçüncü grupta, en yüksek RC değerine sahip Çerkeş orijini ise üçüncü grupta toplanmıştır. Bunun yanında sıcaklık düşüşü ile birlikte tüm orijinlerde RC değerleri artış göstermiştir.

-20°C sıcaklık kademesinde orijinler arasında iki grup oluşmuştur. En düşük RC değerine sahip olan Kargı orijini birinci grupta; Çerkeş, Nallıhan, Karaman ve Yozgat orijinleri hem birinci hem de ikinci grupta yer alırken, en yüksek RC değerine sahip olan Dirgine ve Kızılcahamam orijinleri ise ikinci grupta yer almıştır. -25°C sıcaklık

kademesinde orijinlere ait RC değerleri arasında ise üç farklı grup oluşmuştur. Buna göre en düşük RC değerlerine sahip olan Karaman orijini birinci grupta, Kargı orijini ikinci grupta; Çerkeş, Kızılcahamam, Nallıhan ve Yozgat orijinleri hem ikinci hem de üçüncü grupta toplanırken en yüksek RC değerine sahip Dirgine orijini ise üçüncü grupta yer almıştır.

Orijinlerin $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki sıcaklık kademesindeki RC değerleri iki farklı grupta toplanmıştır. En düşük RC değerine sahip olan Çerkeş orijini birinci grupta; Kargı, Karaman ve Nallıhan orijinleri hem birinci hem de ikinci grupta yer alırken, en yüksek RC değerine sahip olan Dirgine, Kızılcahamam ve Yozgat orijinleri ikinci grupta toplanmıştır. $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ kademesinde ise tüm orijinlerin sahip olduğu RC değerleri arasında önemli düzeyde farklılıkların bulunmadığı yine ilgili tablodan anlaşılmaktadır.

Relatif iletkenlik değerlerinin (RC) orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre nasıl bir değişim gösterdiği ise Şekil 4.4'de görülmektedir



Şekil 4.4: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Relatif İletkenlik (RC) değerleri.

Tablo 4.6 ve Şekil 4.4 birlikte incelendiğinde, orijinler arasında -20 , -25 ve $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki sıcaklık kademeleri için en yüksek RC değerlerinin Dirgine orijinine ait olduğu anlaşılmaktadır. Yine aynı sıcaklık kademeleri için en düşük RC değerleri değişik orijinlere sahiptir. Sıcaklıklardaki düşüşle birlikte orijinlerin RC değerlerinde artış görülmektedir.

4.2.1.2. Kış Mevsiminde Klorofil Floresans Yöntemine Ait Bulgular

a- Fotosentetik Verimlilik (F_v/F_m)

Klorofil floresans yönteminde, kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.7’te verilmiştir. F_v/F_m değeri normal koşullar altındaki bitkide $0,832 \pm 0,004$ seviyesindedir. Stres koşullarında ise bu değer azalmaktadır. Stresin derecesi ve süresi azalmayı önemli derecede etkilemektedir.

Tablo 4.7: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$						$F_{(4,20)}$	P
	Kontrol	-20	-25	-30	-40			
Kargı	0,832 A	0,506 B	0,452 B	0,268 C	0,049 D	37,705	0,000	
Çerkeş	0,826 A	0,512 B	0,370 C	0,323 C	0,057 D	156,209	0,000	
Dirgine	0,832 A	0,408 B	0,315 B	0,110 C	0,046 C	96,860	0,000	
Kızılcahamam	0,860 A	0,470 B	0,436 B	0,144 C	0,053 C	24,146	0,000	
Nallıhan	0,832 A	0,610 B	0,503 B	0,194 C	0,067 C	62,000	0,000	
Karaman	0,834 A	0,602 B	0,408 C	0,235 D	0,043 E	72,921	0,000	
Yozgat	0,830 A	0,630 B	0,352 C	0,179 D	0,044 E	112,353	0,000	

*Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içindeki sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir ($p < 0,05$).

Tablo 4.7 incelendiğinde farklı orijinli fidanların farklı sıcaklık seviyelerinde hesaplanan F_v/F_m değerlerinin kontrolden önemli düzeyde farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum azalan sıcaklık değerlerinin fidanları önemli düzeyde etkilediğini göstermektedir. Fidanlar orijinlerine göre ele alındığında; Kargı orijinli fidanların -20 ve -25 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki F_v/F_m değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmadığı, sıcaklığın -30 ve -40 $^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmesi durumunda F_v/F_m değerlerinin önemli düzeyde değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. Çerkeş orijinli fidanlarda ise -25 ve -30 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkla ölçülen F_v/F_m değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmamakla birlikte, bu değer -20 ve -40 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta elde edilen F_v/F_m değerlerinden önemli düzeyde farklı bulunmuştur. Dirgine, Kızılcahamam ve Nallıhan orijinli fidanlarda ise -20 ve -25 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki F_v/F_m değerleri ve ayrıca -30 ile -40 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki F_v/F_m

değerleri benzer bulunmuş olmakla birlikte -25 ve -30°C sıcaklıklardaki F_v/F_m değerleri önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Karaman ve Yozgat orijinli fidanlarda ise her sıcaklık kademesinde elde edilen F_v/F_m değerleri birbirinden önemli düzeyde farklı oldukları saptanmıştır.

Farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijininin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

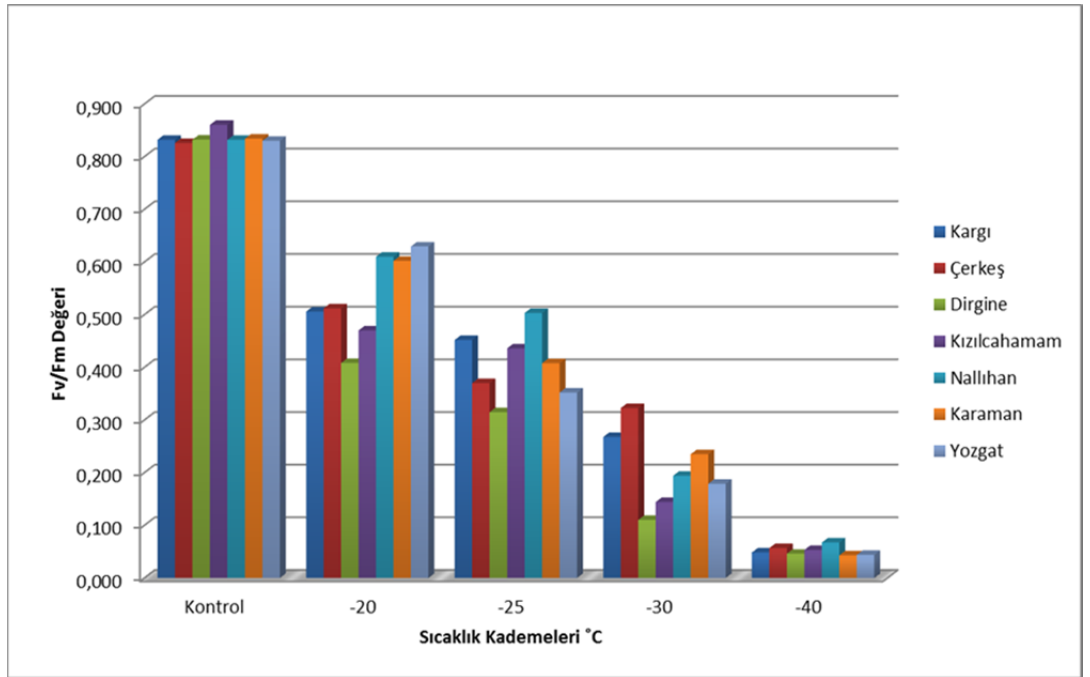
Orijin	Sıcaklık Kademeleri °C				
	Kontrol	-20	-25	-30	-40
Kargı	0,832 b	0,506 ab	0,452 a	0,268 ab	0,049 a
Çerkeş	0,826 b	0,512 ab	0,370 a	0,323 a	0,057 a
Dirgine	0,832 b	0,408 b	0,315 a	0,110 b	0,046 a
Kızılcahamam	0,860 a	0,470 ab	0,436 a	0,144 ab	0,053 a
Nallıhan	0,832 b	0,610 a	0,503 a	0,194 ab	0,067 a
Karaman	0,834 b	0,602 a	0,408 a	0,235 ab	0,043 a
Yozgat	0,8300 b	0,6300 a	0,352 a	0,179 ab	0,044 a
$F_{(6,28)}$	7,338	4,144	2,034	2,565	0,464
P	0,000	0,004	0,094	0,042	0,829

* Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir (p<0,05).

Yukarıda verilen tablo ya göre farklı sıcaklık kademelerinde, değişik orijinli fidanların F_v/F_m değerleri ele alındığında; Her orijindeki kontrol parselleri arasında yalnızca Kızılcahamam orijininin diğer orijinlerden önemli düzeyde farklı ve yüksek F_v/F_m değerine sahip olduğu görülmektedir. Sözü edilen değerlerin -20°C sıcaklıktaki durumları ele alındığında ise en yüksek F_v/F_m değerlerinin Nallıhan, Karaman ve Yozgat orijinli fidanlarda olduğu, en düşük F_v/F_m değerinin ise Dirgine orijinli fidanlarda görüldüğü çizelgeden anlaşılmaktadır. Çerkeş ve Kızılcahamam orijinli fidanlar ise F_v/F_m değerleri bakımından iki grupta da benzerlik göstermektedir. F_v/F_m değerlerinin -25°C sıcaklıktaki değişimleri incelendiğinde, orijinler arasında önemli bir farklılık tespit edilememiştir. -30°C sıcaklıktaki F_v/F_m değerleri incelendiğinde ise en

yüksek değerin Çerkeş orijinli fidanlarda tespit edildiği, en düşük F_v/F_m değerinin ise Dirgine orijininde olduğu anlaşılmakta olup diğer diğer orijinlere ait F_v/F_m değerler sözü edilen iki orijinle de benzerlik göstermektedir. F_v/F_m değerlerinin -40°C sıcaklıktaki durumları incelendiğinde, orijinler arasında önemli bir farklılığın bulunmadığı söz konusu çizelgeden anlaşılmaktadır.

F_v/F_m değerlerinin orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre değişimi ise Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) değerleri.

Sıcaklık kademelerine ait Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) değerleri, Tablo 4.8 ve Şekil 4.5 birlikte incelendiğinde, sıcaklık kademelerinde orijinler arasında farklılaşmaların görüldüğü ve -20 , -25 ve -30°C sıcaklıklarda en düşük F_v/F_m değerinin Dirgine orijinine ait olduğu anlaşılmaktadır. Dirgine düşük sıcaklık kademelerinden en fazla etkilenen orijindir. Yine aynı sıcaklık kademeleri için en yüksek F_v/F_m değerlerinde öne çıkan bir orijin bulunmamakla birlikte en yüksek değerler farklı orijinlerde elde edilmiştir.

b- Minimum Floresans Verimi (F_0)

Minimum Floresans Verimi, fotosentez mekanizmasında enerji transfer etkinliğinde önemlidir. Stres altındaki bitkilerde bu değer etkili bir biçimde değişiklik göstermektedir. Genelde bitkide stres derecesi ve etkisi arttıkça F_0 değeri artış göstermektedir.

Klorofil floresans yönteminde, kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin Minimum Floresans Verimi (F_0) değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.9'te verilmiştir

Tablo 4.9: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$					$F_{(4,20)}$	P
	Kontrol	-20	-25	-30	-40		
Kargı	51,6 A	101,9 B	111,9 B	175,6 C	248,2 C	20,126	0,000
Çerkeş	48,7 A	84,6 B	167,8 B	116,6 C	223,1 D	63,363	0,000
Dirgine	58,0 A	112,8 B	163,1 BC	252,7 CD	222,3 D	29,087	0,000
Kızılcahamam	56,4 A	99,1 A	165,0 B	210,8 B	283,1 C	32,932	0,000
Nallıhan	53,1 A	101,5 A	104,6 A	207,3 B	209,9 B	16,763	0,000
Karaman	61,2 A	60,7 A	87,0 A	197,0 B	321,9 C	66,125	0,000
Yozgat	69,3 A	74,9 A	129,5 B	217,3 C	209,8 C	49,561	0,000

*Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içindeki sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$).

Tablo 4.6'daki verilere göre, farklı orijinli fidanların değişik sıcaklık seviyelerinde hesaplanan F_0 değerlerinin Kargı, Çerkeş ve Dirgine orijinlerinde kontrolden önemli düzeyde farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

Fidanlar orijinlerine göre ele alındığında ise Kargı orijinli fidanların -20 ve -25 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki F_0 değerleri ile -30 ve -40 $^{\circ}\text{C}$ 'deki F_0 değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmadığı anlaşılmaktadır. Çerkeş orijinli fidanlarda -20 ve -25 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkla ölçülen F_0 değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmamakla birlikte bu değer -30 ve -40 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta elde edilen F_0 değerlerinden önemli düzeyde farklı bulunmuştur. Dirgine orijinli fidanlarda -20 ve -40 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki F_0 değerleri önemli düzeyde farklılık

göstermekle birlikte -25 ve -30 °C sıcaklıktaki F_0 değerleri bir alt ve bir üst kademedeki sıcaklık dereceleri ile benzerlik göstermektedir. Kızılcahamam orijinli fidanlarda ise kontrol ve -20 °C ayrıca -25 ve -30 °C'deki F_0 değerleri benzer olmakla birlikte -40 °C'deki F_0 değeri diğer sıcaklık kademelerinden önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Nallıhan ve Karaman orijinli fidanlarda ise kontrol -20 ve -25 °C'de ölçülen F_0 değerleri ile -30 °C ölçülen F_0 değerleri benzerlik göstermekle birlikte Nallıhan orijininde -25 ve -30 °C sıcaklıktaki F_0 değerleri, Karaman orijininde -25, -30 ve -40 °C sıcaklıkta ölçülen F_0 değerleri önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Son olarak Yozgat orijinli fidanlarda ölçülen F_0 değeri ele alındığında, kontrol ve -20 °C sıcaklıktaki F_0 değerleri ve yine -30 ve -40 °C ölçülen F_0 değerlerinin birbirine benzer olduğu, -20, -25 ve -30 °C ölçülen F_0 değerlerinin ise birbirinden farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

Farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijininin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.10'de verilmiştir.

Tablo 4.10: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

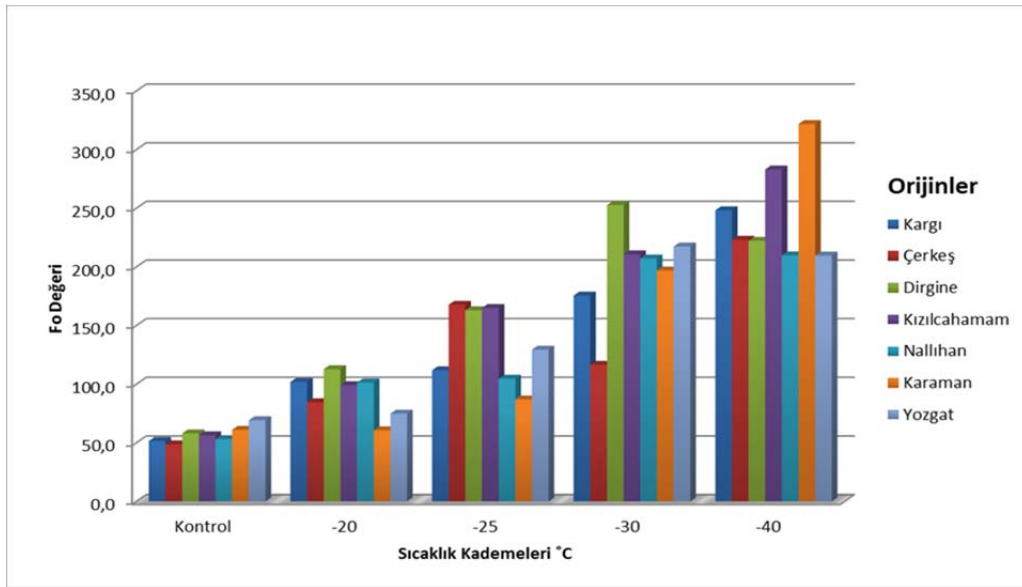
Orijin	Sıcaklık Kademeleri °C				
	Kontrol	-20	-25	-30	-40
Kargı	51,6 ab	101,9 ab	111,9 a	175,6 ab	248,2 ab
Çerkeş	48,7 a	84,6 ab	167,8 b	116,6 a	223,1 ab
Dirgine	58,0 ab	112,8 b	163,1 b	252,7 b	222,3 a
Kızılcahamam	56,4 ab	99,1 ab	165,0 b	210,8 b	283,1 ab
Nallıhan	53,1 ab	101,5 ab	104,6 a	207,3 b	209,9 a
Karaman	61,2 ab	60,7 a	87,0 a	197,0 ab	321,9 b
Yozgat	69,3 b	74,9 ab	129,5 ab	217,3 b	209,8 a
$F_{(6,28)}$	2,765	2,900	9,807	3,863	3,323
P	0,031	0,025	0,000	0,000	0,013

*Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir (p<0,05)

Tablo 4.10'daki Minimum Floresans (F_0) değerleri ele alındığında ise; Kontrol gurubuna ait ölçümlerden elde edilen en düşük F_0 değerinin Çerkeş orijinli fidanlarda, en yüksek F_0 değerinin ise Yozgat orijinli olduğu anlaşılmakta olup diğer orijinlere ait

F_0 değerleri sözü edilen iki orijinle de benzerlik göstermektedir. -20°C sıcaklıktaki F_0 durumları incelendiğinde en düşük F_0 değerinin Karaman orijini, en yüksek F_0 değerinin ise Dirgine orijini olduğu anlaşılmakta olup yine diğer orijinlere ait F_0 değerleri sözü edilen iki orijinle de benzerlik göstermektedir. -25°C sıcaklıktaki F_0 değerleri incelendiğinde ise en düşük değer Karaman orijinli fidanlarda tespit edildiği, en yüksek F_0 değerinin ise Çerkeş orijinli fidanlarda olduğu anlaşılmakta olup Kargı, Nallıhan ve Karaman orijinleri ile Çerkeş, Dirgine ve Kızılcahamam orijinleri aynı grupta toplanmıştır. Yozgat orijini ise sözü edilen iki gruptaki orijinlere benzerlik göstermektedir.

F_0 değerlerinin -30°C deki sıcaklıktaki durumları ele alındığında ise en düşük F_0 değerinin Çerkeş orijininde, en yüksek F_0 değerlerinin ise Yozgat, Nallıhan, Kızılcahamam ve Dirgine orijinlerinde olduğu ilgili tablodan anlaşılmaktadır. Kargı ve Karaman orijinli fidanlar ise F_0 değerleri bakımından iki gruba da benzerlik göstermektedir. Son olarak F_0 değerlerinin -40°C sıcaklıktaki değişimleri incelendiğinde en düşük F_0 değerlerinin Dirgine, Nallıhan ve Yozgat orijinlerinde; en yüksek F_0 değerinin ise Karaman orijininde olduğu anlaşılmaktadır. Kargı, Çerkeş ve Kızılcahamam orijinlerine ait fidanlar ise F_0 değerleri bakımından iki gruba da benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.6: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Minimum Floresans (F_0) değerleri.

Sekil 4.6'ya göz atıldığında, sıcaklık artışı ile genelde F_o değeri artmış olmakla birlikte bazı orijinlerde dalgalı bir değişim göstermiştir. Tüm sıcaklık kademelerinde Dirgine yüksek F_o değerleri ile dondan en çok etkilenen orijin olmuştur. Karaman ve Çerkeş orijinleri ise genelde düşük F_o değerleri ile dondan az etkilenen orijinler olmuştur.

c- Maksimum Floresans Verimi (F_m)

Karanlığa adapte edilmiş bitki materyalinde ölçülen Maksimum Floresans Verimi (F_m), fotosentetik aktivitenin durumunu ifade etmektedir. F_m değerindeki azalma daha önce bahsedildiği üzere, elektron taşımının etkilediğini ifade etmektedir.

Klorofil floresans yönteminde, kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin Minimum Floresans Verimi (F_m) değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.11'te verilmiştir

Tablo 4.11: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$					$F_{(4,20)}$	P
	Kontrol	-20	-25	-30	-40		
Kargı	299,8 A	193,1 B	200,5 B	229,0 AB	256,4 AB	4,386	0,010
Çerkeş	275,3 A	174,0 B	259,9 A	173,8 B	232,8 AB	7,425	0,001
Dirgine	344,8 A	208,6 B	259,6 B	283,6 AB	222,3 B	7,352	0,001
Kızılcahamam	391,0 A	199,6 B	261,1 BC	240,5 BC	293,9 C	12,05 2	0,000
Nallıhan	311,5 A	264,7 AB	224,5 B	260,6 AB	261,6 AB	5,579	0,003
Karaman	386,7 A	151,0 B	143,0 B	242,8 C	331,9 D	56,58 3	0,000
Yozgat	432,7 A	194,8 B	191,3 B	248,5 C	218,4 BC	59,92 5	0,000

*Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içindeki sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$)

Orijinlerin çeşitli sıcaklık kademelerine ait F_m değerlerini gösteren Tablo 4.11 incelendiğinde; farklı orijinli fidanların değişik sıcaklık seviyelerinde hesaplanan F_m değerlerinin Kızılcahamam, Karaman ve Yozgat orijinlerinde kontrolden önemli düzeyde farklılık gösterdiği anlaşılmakla birlikte diğer orijinlerin sıcaklık kademelerindeki F_m değerleri kontrol grubuna benzerlik göstermektedir. Orijinler de sıcaklık derecelerinin azalmasına bağlı olarak F_m değerlerinin genel olarak azaldığı

görülmektedir. Fakat orijinler içinde bazı sıcaklık kademeleri arasında ise F_m değerleri arasında ani yükselme ve küçük düşüşlerin olduğu da görülebilmektedir (Şekil 4.7).

Farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijininin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.12’de verilmiştir.

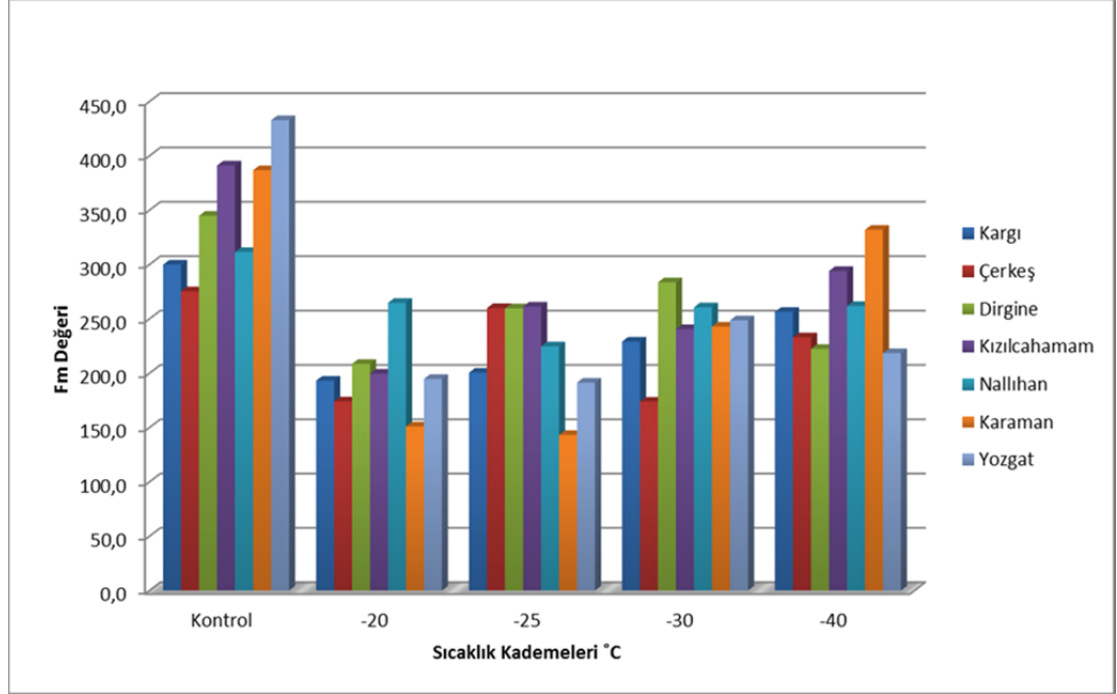
Tablo 4.12: Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri				
	Kontrol	-20	-25	-30	-40
Kargı	299,8 a	193,1 b	200,5 b	229,0 ab	256,4 ab
Çerkeş	275,3 a	174,0 b	259,9 c	173,8 a	232,8 a
Dirgine	344,8 ab	208,6 b	259,6 c	283,6 b	222,3 a
Kızılcahamam	391,0 b	199,6 b	261,1 c	240,5 ab	293,9 ab
Nallıhan	311,5 ab	264,7 a	224,5 bc	260,6 b	261,6 ab
Karaman	386,7 b	151,0 b	143,0 a	242,8 ab	331,9 b
Yozgat	432,7 b	194,8 b	191,3 b	248,5 ab	218,4 a
$F_{(6,28)}$	4,865	7,104	14,481	3,350	3,711
P	0,002	0,000	0,000	0,013	0,008

* Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$)

Değişik sıcaklık kademelerinde, değişik orijinli fidanların F_m değerleri ele alındığında ise (Tablo 4.12); kontrol örnekleri arasında en yüksek F_m değeri Karaman, Yozgat ve Kızılcahamam; en düşük F_m değerleri ise Kargı ve Çerkeş orijinli fidanlarda tespit edilmiştir. Dirgine ve Nallıhan orijinli fidanlar ise bu iki gruba benzerlik göstermektedir. -20 °C sıcaklık kademesinde ise en yüksek F_m değerine sahip olan Nallıhan orijini diğer orijinlerden önemli derecede farklılık göstermektedir. -25 °C sıcaklıkta ise orijinlerin üç farklı grupta toplandığı görülmekle birlikte en yüksek F_m değeri Çerkeş orijinli fidanlarda, en düşük F_m değeri ise Karaman orijinli fidanlardadır. -30 °C sıcaklıkta ise en orijinler iki farklı gruba ayrılmakla birlikte en yüksek F_m değeri Dirgine orijininde, en düşük F_m değeri ise Çerkeş orijininde tespit edilmiştir. Diğer orijinler ise bu iki gruba benzerlik göstermektedir. -40 °C sıcaklık kademesinde de yine orijinler F_m değerleri bakımından iki farklı grupta toplanmıştır. En yüksek F_m değeri

Karaman, en düşük F_m değeri ise Yozgat orijininde olduğu ilgili tablodan anlaşılmaktadır. Diğer orijinler ise bu iki gruba benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.7: Kışın orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Maksimum Floresans (F_m) değerleri.

4.2.1.3. Kış Mevsiminde Görsel Değerlendirme Yöntemine Ait Bulgular

Kış mevsiminde görsel değerlendirme yönteminde, her sıcaklık kademesinde orijinlere ait fidan sayım çizelgelerine işlenen (Bakınız Bölüm 3.2.2.5) sağlıklı ve zarar görmüş fidan sayıları üzerinden fidan yaşama yüzdeleri 15. gün sonunda hesaplanmış ve Tablo 4.13'te verilmiştir. Ayrıca yöntem sonrası fidanların, genel görünümü Şekil 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.13: Kışın görsel değerlendirme yönteminde fidanların yaşama yüzdesi

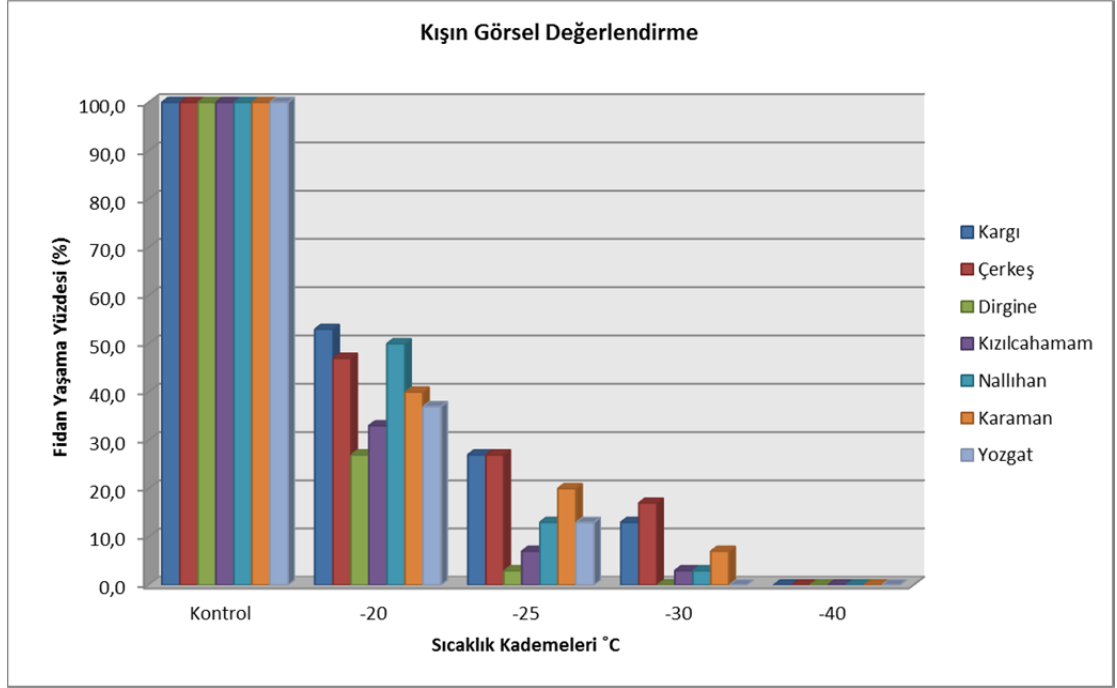
No	Orijinler	Sıcaklık Kademeleri ve Yaşama Yüzdeleri				
		Kontrol	-20 °C	-25 °C	-30 °C	-40 °C
1	Kargı	%100	%53	%27	%13	%0
2	Çerkeş	%100	%47	%27	%17	%0
3	Dirgine	%100	%27	%3	%0	%0
4	Kızılcahamam	%100	%33	%7	%3	%0
5	Nallıhan	%100	%50	%13	%3	%0
6	Karaman	%100	%40	%20	%7	%0
7	Yozgat	%100	%37	%13	%0	%0



Şekil 4.8: Kışın görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanların genel görünümü.

İlgili Tablo 4.13 incelendiğinde, Kontrol grubunda tüm orijinlere ait fidanların hayatta oldukları görülmektedir. -20°C sıcaklıkta en yüksek yaşama yüzdesine sahip orijinler Kargı (%53) ve Çerkeş (%47) iken en düşük yaşama yüzdesine sahip orijin Dirgine'dir (%27). -25°C sıcaklıkta yine Kargı ve Çerkeş orijinleri (%27) en yüksek yaşama yüzdesine sahipken Dirgine orijini (%3) en düşük yaşama yüzdesine sahip olmuştur. -30°C derece ise en yüksek yaşama yüzdesine sahip orijin Çerkeş (%17) iken en düşük orijin Dirgine'dir (%0). -40°C sıcaklıkta tüm fidanların öldüğü yine ilgili çizelgeden anlaşılmaktadır.

Yukarda belirtilen fidan yaşama yüzdelерinin orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre değişiminin görsel olarak daha iyi anlaşılabilmesi için veriler grafik olarak ayrıca Şekil 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.9: Kışın görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanlara ait yaşama yüzdeleri.

4.2.2. İlkbahar Mevsiminde Yapılan Dona Dayanıklılık Testlerine Ait Bulgular

4.2.2.1. İlkbahar Mevsiminde İyon Sızıntısı Yöntemine Ait Bulgular

Gerçekleştirilen İyon sızıntısı yöntemi ile ilkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin RC değerlerine olan etkisini gösteren Varyans Analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14'de RC değerleri ele alındığında; Çerkeş, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinli fidanların tüm sıcaklık kademelerinde farklı RC değerlerine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Kargı, Dirgine, Kızılcahamam ve Karaman orijinlerinin ise kontrol ve -5°C sıcaklık kademelerinde farklılık bulunmamaktadır. Bunun yanında aynı orijinlerin -10°C ve -15°C de elde edilen RC değerleri ise önemli düzeyde birbirinden farklıdır.

Tablo 4.14: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri ⁰ C					F _(4,20)	P
	Kontrol	-5	-10	-15			
Kargı	13,16 A	18,37 A	31,71 B	66,72 C		194,67	0,000
Çerkeş	12,50 A	17,79 B	33,88 C	69,33 D		322,519	0,000
Dirgine	11,80 A	16,53 A	40,62 B	70,06 C		217,614	0,000
Kızılcahamam	10,76 A	14,55 A	34,87 B	66,40 C		328,711	0,000
Nallıhan	11,06 A	15,04 B	35,29 C	68,10 D		368,155	0,000
Karaman	11,00 A	15,85 A	35,69 B	65,16 C		270,168	0,000
Yozgat	11,45 A	17,12 B	35,92 C	61,56 D		206,377	0,000

*Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içinde sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir (p<0,05)

Ayrıca İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.15: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin RC değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

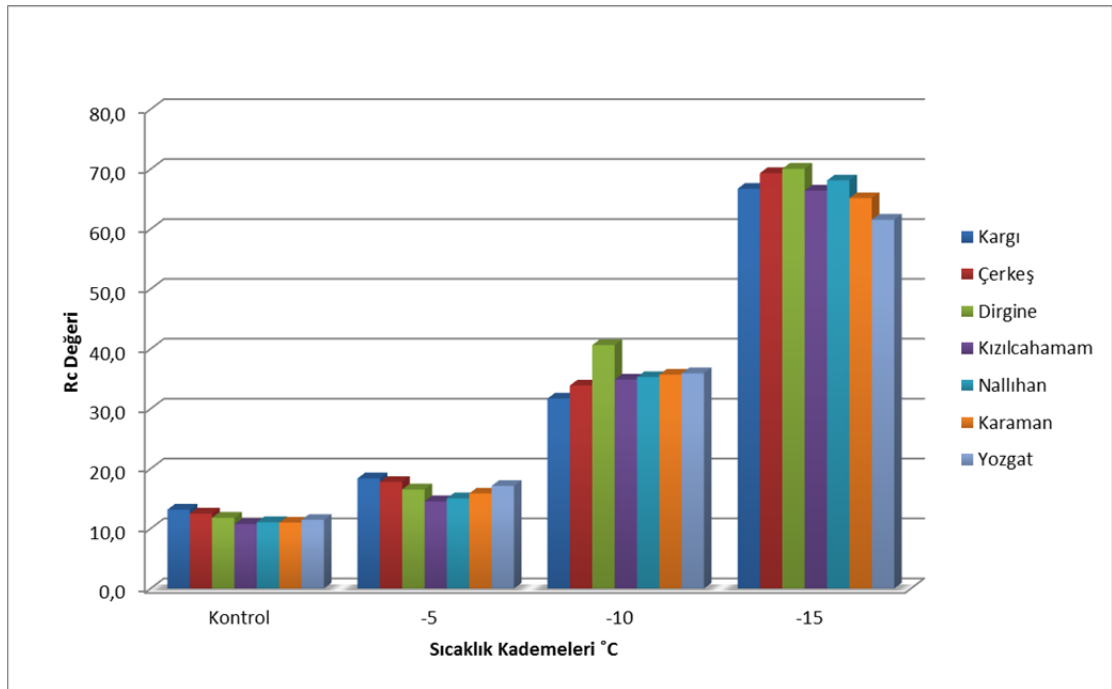
Orijin	Sıcaklık Kademeleri ⁰ C			
	Kontrol	-5	-10	-15
Kargı	13,16 b	18,37 a	31,71 a	66,72 a
Çerkeş	12,50 ab	17,79 a	33,88 a	69,33 a
Dirgine	11,80 ab	16,53 a	40,62 a	70,0620 a
Kızılcahamam	10,76 a	14,55 a	34,87 a	66,40 a
Nallıhan	11,06 a	15,04 a	35,29 a	68,10 a
Karaman	11,00 a	15,85 a	35,69 a	65,16 a
Yozgat	11,45 a	17,12 a	35,92 a	61,56 a
F _(6,28)	4,811	2,473	1,505	2,174
P	0,002	0,048	0,213	0,076

* Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir (p<0,05)

Her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki RC değerleri ele alındığında, kontrol grubu hariç tüm sıcaklık kademelerinde orijinlerin RC değerlerinde önemli bir farklılık

gözlemlenmemiştir. Dolayısı ile -5°C , -10°C ve -15°C de tüm orijinler aynı oranda zarar görmüştür. Kontrol grubunda ise orijinler arasında iki farklı grup meydana gelmiştir. Dirgine, Kızılcahamam, Nallıhan, Karaman ve Yozgat düşük R değerleri ile bir grupta yer alırken, Kargı orijini en yüksek RC değeri ile başka bir grupta yer almıştır. Çerkeş orijini ise her iki gruba da benzerlik göstermektedir.

Relatif iletkenlik değerlerinin (RC) orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre nasıl bir değişim gösterdiği ise Şekil 4.10'da görülmektedir. Genelde sıcaklık düşüğü ile birlikte orijinlerin RC değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Relatif İletkenlik (RC) değerleri.

4.2.2.2. İlkbahar Mevsiminde Klorofil Floresans Yöntemine Ait Bulgular

a- Fotosentetik Verimlilik (F_v/F_m)

Gerçekleştirilen klorofil floresans yöntemi ile ilkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin Fotosentetik Verimlilik (F_v/F_m) değerlerine olan etkisini gösteren Varyans Analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.16'te verilmiştir.

Tablo 4.16: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$					
	Kontrol	-5	-10	-15	$F_{(4,20)}$	P
Kargı	0,834 A	0,778 A	0,592 AB	0,160 B	6,327	0,005
Çerkeş	0,856 A	0,796 A	0,558 B	0,050 C	156,963	0,000
Dirgine	0,816 A	0,822 A	0,630 B	0,086 C	134,794	0,000
Kızılcahamam	0,823 A	0,810 A	0,650 B	0,124 C	184,468	0,000
Nallıhan	0,816 A	0,798 A	0,682 A	0,216 B	51,953	0,000
Karaman	0,830 A	0,802 A	0,674 A	0,170 B	43,718	0,000
Yozgat	0,832 A	0,806 A	0,684 A	0,176 B	33,173	0,000

* Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içinde sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$)

Tablo 4.16’da fidanlar orijinlerine göre ele alındığında, tüm orijinlerin F_v/F_m değerleri kontrol ve -5°C de benzerlik göstermektedir. Çerkeş, Dirgine ve Kızılcahamam orijinlerinin F_v/F_m değerleri -10°C ve -15°C de birbirlerinden önemli derece farklıdır dolayısıyla bu orijinlerde don zararının ilkbaharda -5°C den sonra başladığı anlaşılmaktadır. Nallıhan, Karaman ve Yozgat orijinlerinde ise -10°C ve -15°C arasında F_v/F_m değerleri önemli düzeyde birbirinden farklılık göstermektedir dolayısıyla bu orijinlerde ilkbaharda don zararı -10°C den sonra başlamaktadır. Kargı orijininde ise -10°C deki F_v/F_m oranı -5 ve -15°C dekine benzerlik göstermektedir.

İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.17’de verilmiştir

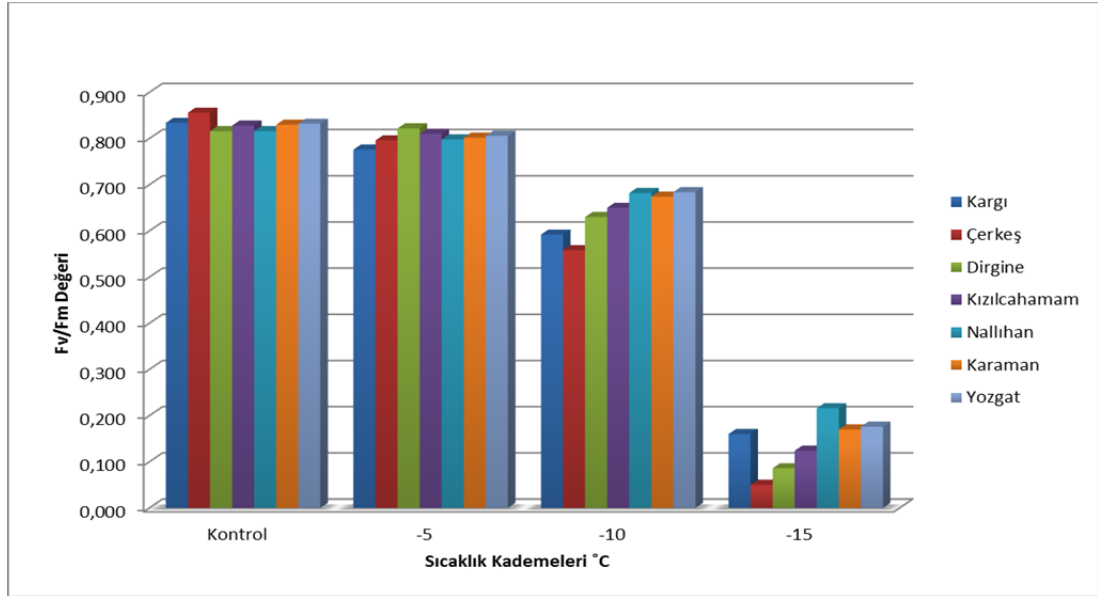
Her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki F_v/F_m değerleri ele alındığında, tüm sıcaklık kademelerinde orijinler arasında önemli farklılıkların olmadığı Tablo 4.17’den anlaşılmaktadır. Bu durumda tüm orijinler her sıcaklık kademesinde dondan aynı oranda zarar görmüşlerdir.

Tablo 4.17: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_v/F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri °C			
	Kontrol	-5	-10	-15
Kargı	0,834 a	0,776 a	0,592 a	0,160 a
Çerkeş	0,856 a	0,796 a	0,558 a	0,050 a
Dirgine	0,816 a	0,822 a	0,630 a	0,086 a
Kızılcahamam	0,828 a	0,810 a	0,650 a	0,124 a
Nallıhan	0,816 a	0,798 a	0,682 a	0,216 a
Karaman	0,830 a	0,802 a	0,674 a	0,170 a
Yozgat	0,832 a	0,806 a	0,684 a	0,176 a
$F_{(6,28)}$	0,183	0,510	0,811	1,195
P	0,979	0,796	0,570	0,338

* Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir (p<0,05)

F_v/F_m değerlerinin orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre değişimini gösteren grafik ise Şekil 4.11’de verilmiştir. Genel olarak sıcaklık azalışı ile birlikte orijinlerin F_v/F_m değerlerinin azaldığı grafik üzerinde açık olarak görülmektedir.



Şekil 4.11: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Fotosentetik Verimlilik (F_v/F_m) değerleri.

b- Minimum Floresans Verimi (F_0)

Gerçekleştirilen klorofil floresans yöntemi ile ilkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin Minimum Floresans Verimi (F_0) değerlerine olan etkisini gösteren Varyans Analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$					
	Kontrol	-5	-10	-15	$F_{(4,20)}$	P
Kargı	78,5 A	98,7 AB	155,6 B	246,7 C	19,609	0,000
Çerkeş	74,5 A	83,6 A	195,6 B	222,8 B	10,154	0,001
Dirgine	51,5 A	81,6 A	157,7 B	180,7 B	28,268	0,000
Kızılcahamam	69,4 A	78,6 AB	123,6 B	230,7 C	32,716	0,000
Nallıhan	78,9 A	83,6 A	126,1 A	212,0 B	13,864	0,000
Karaman	65,7 A	84,7 A	138,8 B	250,5 C	78,960	0,000
Yozgat	79,1 A	88,4 A	97,3 A	191,8 B	12,097	0,000

*Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içinde sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$)

Tablo 4.18 incelendiğinde, Kargı ve Kızılcahamam orijinlerinin -5°C deki F_0 değerleri hem kontrol hem de -10°C deki F_0 değerlerine benzerlik göstermekte olup bu orijinlerin -10°C ve -15°C deki F_0 değerleri birbirinden farklıdır. Çerkeş ve Dirgine orijinlerinin kontrol ve -5°C ile -10°C ve -15°C sıcaklık kademelerindeki F_0 değerleri birbirine benzerlik göstermektedir. Nallıhan ve Yozgat orijinlerinin ise -15°C deki F_0 değerleri diğer tüm sıcaklık kademelerinden farklılık göstermektedir. Son olarak Karaman orijininin kendi içindeki F_0 değerlerine bakıldığında, söz konusu orijinin -10 ve -15°C deki F_0 değerleri birbirinden ve diğer sıcaklık kademelerinden farklılık gösterdiği yine ilgili tablodan anlaşılmaktadır.

İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.19’da verilmiştir.

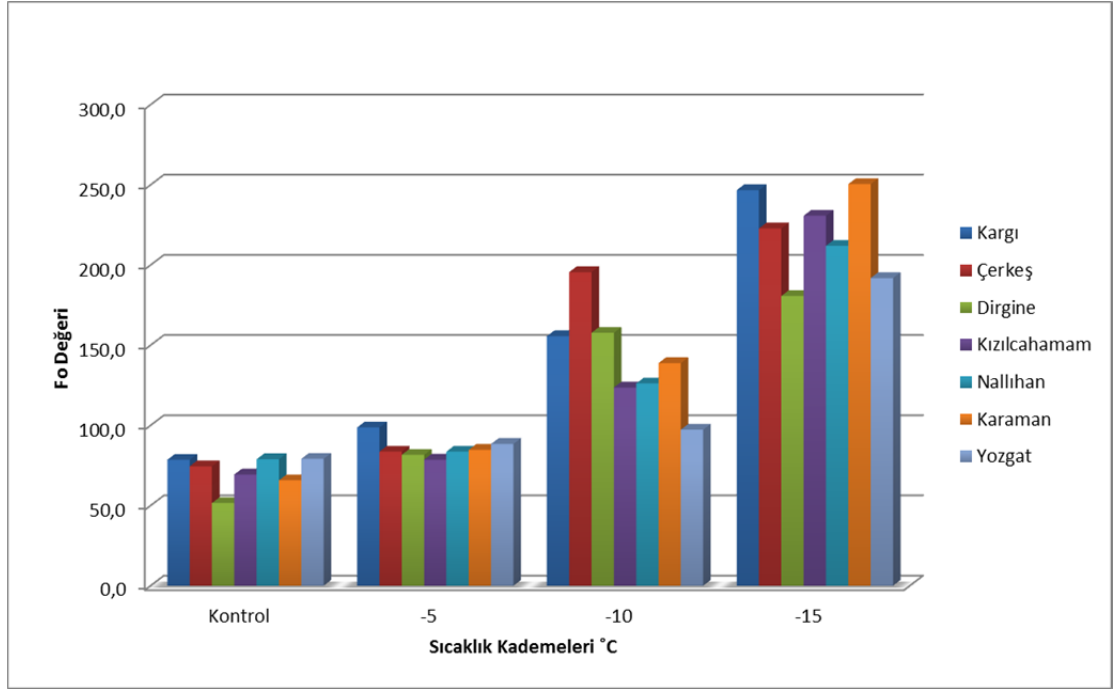
Tablo 4.19: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$			
	Kontrol	-5	-10	-15
Kargı	78,5 b	98,7 a	155,6 a	246,7 a
Çerkeş	74,5 b	83,6 a	195,6 a	222,8 a
Dirgine	51,5 a	81,6 A a	157,7 a	180,7 a
Kızılcahamam	69,4 ab	78,6 a	123,6 a	230,7 a
Nallıhan	78,9 b	83,6 a	126,1 a	212,0 a
Karaman	65,7 ab	84,7 a	138,8 a	250,5 a
Yozgat	79,1 b	88,4 a	97,3 a	191,8 a
$F_{(6,28)}$	3,612	0,964	1,856	1,817
P	0,009	0,467	0,124	0,132

*Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$)

Her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki F_0 değerleri ele alındığında ise; kontrol grubunda orijinler arasında 2 farklı grup meydana gelmiştir. Buna göre en düşük F_0 değerlerine sahip Dirgine orijini birinci grupta, en yüksek F_0 değerlerine sahip Kargı, Çerkeş, Nallıhan ve Yozgat orijinleri ikinci grupta yer almıştır. Kızılcahamam ve Karaman orijinleri ise her iki gruba da benzerlik göstermiştir. Ayrıca kontrol grubu hariç diğer tüm sıcaklık kademelerinde orijinler arasında herhangi bir farklılık olmadığı yine ilgili tablodan anlaşılmaktadır. Dolayısı ile F_0 değerleri bakımından her bir sıcaklık kademesinde (-5, -10 ve -15 $^{\circ}\text{C}$ de) orijinler aynı oranda dondan zarar görmüşlerdir.

Kloroforil floresans ölçümleri sonucu elde edilen F_0 değerlerinin orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre değişimini gösteren grafik ise Şekil 4.12’de verilmiştir. İlgili grafikte yukarıda açıklanmış olan durum görsel olarak sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere sıcaklık düşüşü ile birlikte genel olarak orijinlerin F_0 değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.12: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Minimum Floresans Verimi (F₀) değerleri.

c- Maksimum Floresans Verimi (F_m)

Gerçekleştirilen klorofil floresans yöntemi ile ilkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin Maksimum Floresans Verimi (F_m) değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin her bir orijinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri °C				F _(4,20)	P
	Kontrol	-5	-10	-15		
Kargı	623,2 A	360,0 B	419,4 B	303,3 B	13,488	0,000
Çerkeş	500,0 A	433,1 A	403,6 A	234,2 B	9,234	0,001
Dirgine	483,8 A	303,5 B	463,8 A	200,4 B	18,908	0,000
Kızılcahamam	448,6 A	308,7 BC	397,9 AB	286,4 C	8,301	0,001
Nallıhan	554,6 A	406,1 AB	426,3 AB	307,7 B	5,832	0,007
Karaman	385,1 A	434,9 A	438,5 A	319,2 A	3,236	0,050
Yozgat	560,6 A	413,9 B	318,6 BC	269,5 C	14,226	0,000

* Aynı satırdaki büyük harfler, her orijinin kendi içinde sıcaklık kademelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir (p<0,05)

Tablo 4.20 incelendiğinde; genel olarak Karaman ve Çerkeş orijine ait F_m değerleri sıcaklık düşüşü ile azalış gösterirken, Kargı orijine ait F_m değerlerinde ise artış gözlenmiştir. Diğer orijinlerde söz konusu bu değer genellikle farklı gruplar oluşturarak azalış göstermiştir.

İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_0 değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey testi sonuçları ise Tablo 4.21’de verilmiştir.

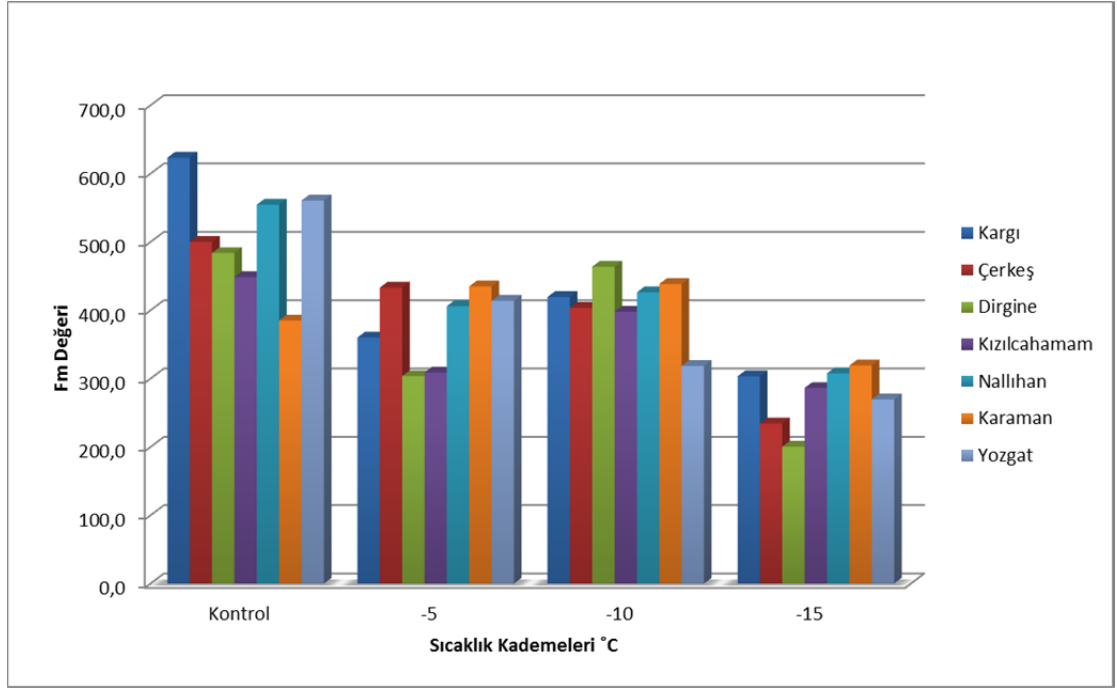
Tablo 4.21: İlkbahar mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinin 7 farklı Anadolu Karaçamı orijinlerinin F_m değerlerine olan etkisini gösteren varyans analizi ve Tukey Testi sonuçları.

Orijin	Sıcaklık Kademeleri $^{\circ}\text{C}$			
	Kontrol	-5	-10	-15
Kargı	623,2 a	360,0 ab	419,4 a	303,3 a
Çerkeş	500,0 ab	433,1 a	403,6 a	234,2 a
Dirgine	483,8 ab	303,5 b	463,8 a	200,4 a
Kızılcahamam	448,6 ab	308,7 b	397,9 a	286,4 a
Nallıhan	554,6 ab	406,1 ab	426,3 a	307,7 a
Karaman	385,1 b	434,9 a	438,5 a	319,2 a
Yozgat	560,6 ab	413,9 ab	318,6 a	269,5 a
$F_{(6,28)}$	3,751	4,128	1,537	2,174
P	0,007	0,004	0,203	0,076

* Aynı sütündeki küçük harfler, her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir ($p<0,05$)

Her bir sıcaklık kademesi için orijinler arasındaki maksimum floresans (F_m) verimi değerlendirildiğinde ise; kontrol ve -5°C de orijinlere ait F_m değerleri arasında iki farklı grup oluşurken, -10 ve -15°C de orijinler arasında F_m değerleri bakımından bir farklılık bulunmamıştır.

Kloroforil floresans ölçümleri sonucu elde edilen F_m değerlerinin orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre değişimini gösteren grafik Şekil 4.13’de verilmiştir. İlgili grafikten F_m değerlerinin sıcaklık kademelerinde orijinlere göre artan veya azalan bir değer izlediği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.13: İlkbaharda orijinlerin sıcaklık kademelerine ait Maksimum Floresans Verimi (F_m) değerleri.

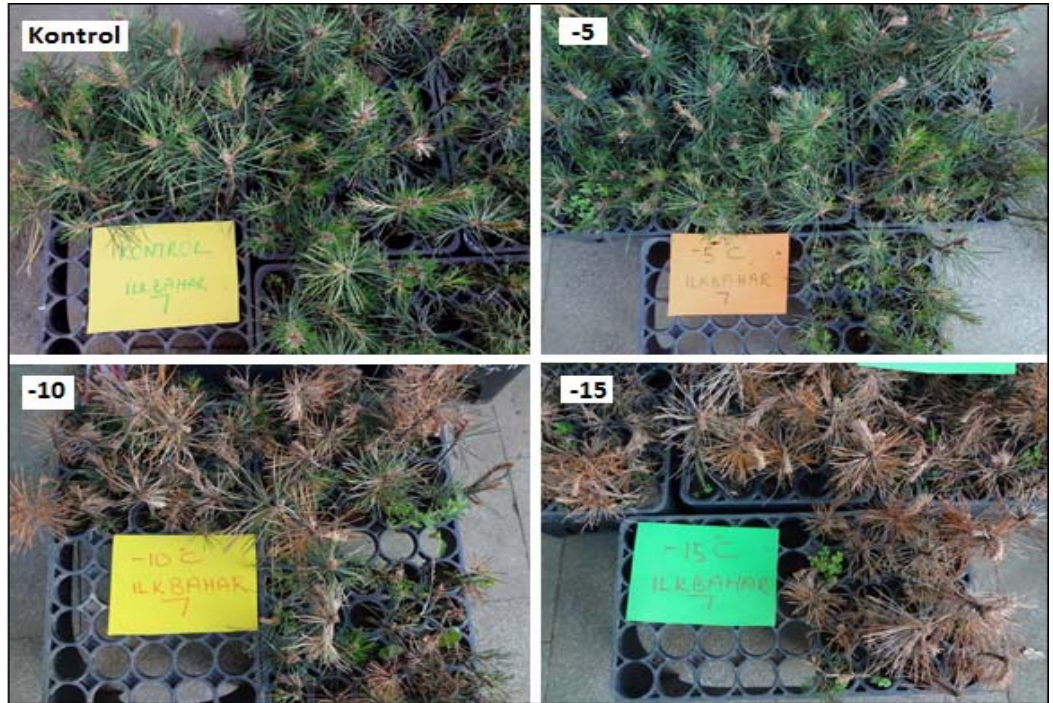
4.2.2.3. İlkbahar Mevsiminde Görsel Değerlendirme Yöntemine Ait Bulgular

İlkbahar mevsiminde görsel değerlendirme yönteminde, her sıcaklık kademesinde orijinlere ait fidan sayım çizelgelerine işlenen sağlıklı ve zarar görmüş fidan sayıları üzerinden fidan yaşama yüzdeleri kış testleri gibi 15. gün sonunda hesaplanmış ve Tablo 4.22’de verilmiştir. Ayrıca yöntem sonrası fidanların, genel görünümü Şekil 4.14’te verilmiştir.

Tablo 4.22: İlkbaharda görsel değerlendirme yönteminde fidanların yaşama yüzdesi

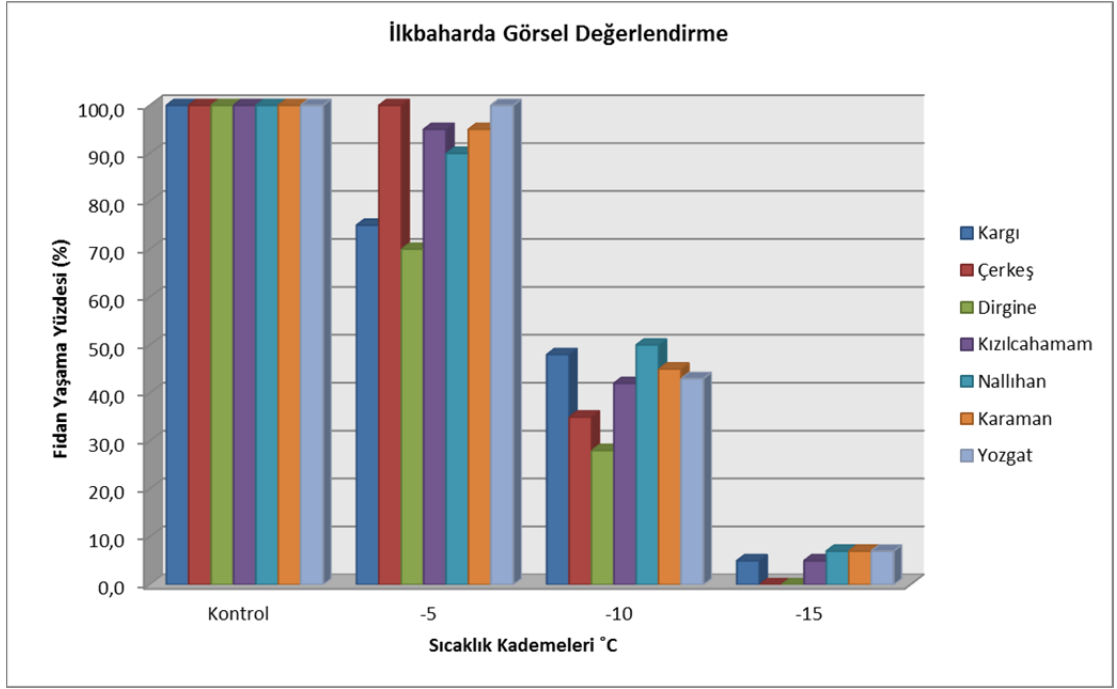
No	Orijinler	Sıcaklık Kademeleri ve Yaşama Yüzdeleri			
		Kontrol	-5 °C	-10 °C	-15 °C
1	Kargı	%100	%75	%48	%5
2	Çerkeş	%100	%100	%35	%0
3	Dirgine	%100	%70	%28	%0
4	Kızılcahamam	%100	%95	%42	%5
5	Nallıhan	%100	%90	%50	%7
6	Karaman	%100	%95	%45	%7
7	Yozgat	%100	%100	%43	%7

Tablo 4.22 incelendiğinde, -5°C de orijinlere ait fidanların yaşama yüzdeleri %70-100 arasında değişmekte olup çoğu orijinin yaşama yüzdesi kontrol grubu kadar yüksektir. Dolayısı ile orijinlere ait fidanlar -5°C den zarar görmemiştir. -10°C en yüksek yaşama yüzdesine sahip orijin Nallihan (%50) olurken en düşük ise Dirgine (%28) orijini olmuştur. -15°C de ise tüm orijinlere ait fidanların öldüğü anlaşılmaktadır. Dolayısı ile ilkbahar testlerinde görsel değerlendirme yöntemi ile don zararları -5 ile -10°C arasında başladığı yine ilgili tablodan anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14: İlkbaharda görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanların genel görünümü.

Yukarda belirtilen fidan yaşama yüzdelerinin orijinlere ve sıcaklık kademelerine göre değişiminin görsel olarak daha iyi anlaşılabilmesi için kış mevsiminde olduğu gibi veriler grafik olarak Şekil 4.9’de verilmiştir. Yine ilgili grafikten sıcaklık düşüşleri ile birlikte fidanların yaşama yüzdelerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.15: İlkbaharda görsel değerlendirme yöntemi sonrası fidanlara ait yaşama yüzdeleri.

4.2.3. Don Testlerinde Sıcaklık ile İyon Sızıntısı ve Klorofil Floresans İlişkisi

4.2.3.1. Kış Mevsiminde Yapılan Testlerde Sıcaklık İle İyon Sızıntısı ve Klorofil Floresans İlişkisi

Kış mevsiminde uygulanan düşük sıcaklık derecelerinde (-20, -25, -30 ve -40 °C) fidanlarda meydana gelen zarar miktarı, iyon sızıntısı ve klorofil floresans yöntemlerinden edilen parametreler yardımı ile belirlenmiştir. Zarar derecesinin oranını belirten bu parametrelerin sıcaklıkla ve kendi aralarındaki ilişkilerin önem derecesini ortaya koyabilmek amacı ile Pearson'un korelasyon analizi testi uygulanmıştır. Korelasyon analizinde İyon sızıntısı yönteminden elde edilen Relatif iletkenlik (RC) ile Floresans ölçümlerinden elde edilen Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m), Minimum floresans (F_0) verimi ve Maksimum floresans verimin (F_m) aralarındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır.

Yapılan korelasyon analizi sonuçlarını gösteren Tablo 4.23 aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.23: Kış don testlerinde çeşitli parametrelere ait korelasyon analizi.

Değişkenler	RC	F _v /F _m	F ₀	F _m	Sıcaklık
RC	1.000				
F _v /F _m	-0.962**	1.000			
F ₀	0.933**	-0.923**	1.000		
F _m	-0.213	0.359*	-0.029	1.000	
Sıcaklık	-0.920**	0.967**	-0.854**	0.479**	1.000

* p<0,05, ** p<0,01

Pearson'un korelasyon analizi testi sonuçlarını gösteren Tablo 4.23 incelendiğinde, sıcaklığın tüm parametreleri etkilediği görülmekle birlikte Maksimum floresans verimi (F_m) ile olan ilişkisi zayıftır. Sıcaklık etkisi ile şekillenen parametrelerin kendi arasındaki ilişkiye bakıldığında ise Relatif iletkenlik değeri (RC) ile Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) arasında kuvvetli anlamlı negatif, Minimum floresans verimi (F₀) ile ise kuvvetli pozitif bir ilişki söz konusudur. Yani RC değeri düşük olup dondan az zarar gören orijinlerin F₀ değerleri de düşük, F_v/F_m değerleri ise yüksek olmaktadır. Yine F_v/F_m değeri ile F₀ değerleri arasında da anlamlı kuvvetli negatif bir ilişki olduğu ilgili tablodan anlaşılmaktadır. Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) değerinin Maksimum floresans verimi (F_m) ile olan ilişkisi ise zayıftır.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda Maksimum floresans veriminin (F_m) diğer parametrelerle bir ilişkisi olmadığı ya da zayıf bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda söz konusu bu parametrenin Anadolu Karaçamında kışın uygulanan düşük sıcaklıklar sonrası oluşan don zararını değerlendirmede etkili bir gösterge olmadığı anlaşılmaktadır.

4.2.3.2. İlkbahar Mevsiminde Yapılan Testlerde Sıcaklık İle İyon Sızıntısı ve Klorofil Floresans Yöntemi İle Elde Edilen Parametrelerin İlişkisi

İlkbahar mevsiminde uygulanan düşük sıcaklık derecelerinde (-5, -10 ve -15 °C) meydana gelen zarar miktarını belirlemek için uygulanan yöntemlerden elde edilen parametrelerin sıcaklıkla ve kendi aralarındaki ilişkilerin önem derecesini ortaya koyabilmek amacı ile yine kış testlerinde olduğu gibi Pearson'un korelasyon analizi testi uygulanmıştır. Analize ilişkin bulgular Tablo 4.24'te sunulmuştur.

Tablo 4.24: İlkbahar don testlerinde çeşitli parametrelere ait korelasyon analizi.

Değişkenler	Sıcaklık	RC	F_v/F_m	F_0	F_m
Sıcaklık	1.000				
RC	-0.948**	1.000			
F_v/F_m	0.895**	-0.977**	1.000		
F_0	-0.911**	0.940**	-0.933**	1.000	
F_m	0.758**	-0.717**	0.724**	-0.606**	1.000

* p<0,05, ** p<0,01

Tablo 4.24'te Pearson'un korelasyon analizi testi sonuçları incelenecek olursa, tıpkı kış mevsiminde yapılan don testlerinde olduğu gibi sıcaklığın tüm parametreleri etkilediği görülmekle birlikte Maksimum floresans verimi (F_m) ile olan ilişkisi diğer parametrelerle olan ilişkisinden zayıftır. Yine Relatif iletkenlik (RC), Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) ve Minimum floresans verimi (F_0) değerleri arasında kış mevsimindeki gibi anlamlı, kuvvetli pozitif veya negatif ilişkiler olduğu ilgili tablodan anlaşılmaktadır. Maksimum floresans verimi de diğer tüm parametrelerle kuvvetli pozitif ve negatif şekilde ilişki içerisindedir. Fakat bu ilişkinin derecesi düşüktür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. KURAKLIĞA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT TARTIŞMA

5.1.1. Orijinleri Temsil Eden Fidanların Transpirasyon Tutumları Bakımından Kuraklığa Karşı Dayanıklılıkları

Kuraklık etkisi ile meydana gelen su stresinin zararlı etkilerinden kurtulmak için bitkiler morfolojik ve fizyolojik yönden çeşitli uyum mekanizmaları geliştirmişlerdir. Örneğin fizyolojik uyumda, öncelikle kökler tarafından su eksikliği algılanmakta ve buna göre bitki turgor ve su potansiyelinde düzenlemelere gitmektedir. Yine kuraklık etkilerine karşı bitki stomatal düzenlemeye (stoma kontrolü) giderek stomalarını erken kapatmakta ve bitki fotosentez aktivitesini kuraklığa göre düzenlemektedir (Kozlowski ve Pallardy, 1996; Larcher, 2003; Chavarria ve Santos, 2012).

Bir bitkinin su potansiyeli arttıkça turgor potansiyeli de artmaktadır. Yine bu olayın tersi durumunda bitki kuraklık etkisi ile su kaybına maruz kaldığında su potansiyeli azalmakta dolayısı ile turgor potansiyeli düşmektedir. Bu düşüş ile bitkide hasarlar meydana gelmeye başlamaktadır (Kramer, 1983; Boyer, 1995; Hale ve Orcutt, 1987).

Araştırma sonuçlarına göre transpirasyonla oluşan su kayıplarına karşı transpirasyonun birinci aşamasının fidanların fizyolojik tepkimelerini düzenlemede önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1). Buna göre söz konusu birinci aşamada stomalarını daha erken kapatan ve daha yüksek su potansiyeline sahip (Ψ_{w1}) Çerkeş, Karaman, Kargı, Kızılcahamam ve Nallıhan orijinleri birinci aşamada daha az su kaybetmişlerdir. Transpirasyonun ikinci aşamasında da bu durum benzer şekilde devam etmiştir. Yine birinci ve ikinci aşama sonunda iyi tutum sergileyen bu orijinlerin kütikular yolla da daha az su kaybettikleri görülmüştür. Aynı şekilde bu orijinler stomalar kapandığı anda içsel olarak bünyelerinde daha fazla suyu tutabilmişlerdir. Dolayısı ile söz konusu bu orijinlerin, su kayıplarına karşı fizyolojik olarak daha iyi bir tepkime verdikleri söylenebilir. Dirgine ve Yozgat orijinleri ise yukarıda açıklanan değerler bakımından fizyolojik olarak daha düşük bir performans sergileyerek transpirasyonun üç aşamasında

daha fazla su kaybeden orijinler olmuşlardır. Söz konusu bu orijinler transpirasyonla su kaybına karşı bu çalışmadaki en dirençsiz orijinler olarak kabul edilebilir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilen görüşler çalışmada yukarıda bildirilen sonuçları destekler mahiyettedir. Örneğin Levit (1972), Kramer (1983), Fernandez ve diğ., (1999), Çalikoğlu ve Tilki (2002) ve Otieno ve diğ., (2005); Bir bitkinin kuraklık stresi koşullarında su potansiyelini çok hızlı bir şekilde düşürmesinin, onun özellikle ekstrem kuraklık koşullarına karşı çok dayanıklı olabileceğinin göstergesi olarak kabul etmişlerdir. Yine Aussenac (1980) ve Dirik (1994); Genel olarak bitki türlerinin su stresi sürecindeki transpirasyon seyirlerinin ekofizyolojik açıdan yorumlanmasında, stomaların tamamen kapandığı andaki içsel su durumunun (R_{well}) kuraklığa dayanıklılık konusunda iyi bir gösterge olduğunu ve bu değerlerin yüksek olması ölçüsünde söz konusu bitki türlerinin kuraklığa karşı dayanıklı olabileceklerini belirtmişlerdir.

Orijinlerin sergilemiş oldukları transpirasyon tutumları incelendiğinde (Tablo 4.1). Kızılcahamam orijininde ilgi çekici bir durum göze çarpmaktadır. Söz konusu orijin su potansiyeli ve oransal su içerikleri açısından kuraklığa karşı Yozgat orijininden daha dayanıklı olmasına rağmen stoma kontrolüne Yozgat orijininden daha geç başlamıştır. (Kızılcahamam 45. dk, Yozgat 30. dk). Bu durum Kızılcahamam orijininin stomalarını geç kapatmasına rağmen su kayıplarına karşı hücre ozmotik düzenlemesini sonradan daha iyi bir şekilde ayarlamış olabileceği ile açıklanabilir.

Anadolu Karaçamı orijinlerinin transpirasyon tutumları temsil ettikleri biyoklimatik rejyonlar ile de benzerlik göstermektedir (Tablo 3.2.). İlgili tablodan hatırlanacağı üzere, $Q = \text{Yağış-Sıcaklık katsayısını ifade etmekte olup bu değer artması ile bölgenin kuraklığı azalmaktadır. Örneğin } Q \text{ değerleri yüksek olup yağışlı bölgeleri temsil eden Dirgine ve Yozgat orijinleri transpirasyon analizleri sonucu en fazla su kaybeden orijinler olmuşlardır. Nitekim analizler sonucu kuraklığa en dayanıklı tespit edilen, Nallıhan, Karaman ve Çerkeş orijinleri düşük } Q \text{ değerine sahiptir. Tespit edilen bu sonucun aksine Çalikoğlu (2002) ise Anadolu Karaçamı orijinlerinde gerçekleştirdiği transpirasyon analizleri sonucunda } Q \text{ değeri çalışmış olduğu orijinlerin kuraklığa dayanıklılıkları arasında bir ilişki olmadığını belirtmiştir. Bu durum tohum toplama yükseltisi ile meteoroloji istasyonunun yükseltisinin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir. Çünkü Çalikoğlu (2002), araştırmasında orijinlere yakın yerlerdeki lokal}$

meteoroloji istasyonu verilerini kullanmıştır. Yapılan bu araştırmada ise tohum temin edilen alanların yükseltisi iklim verilerindeki hatayı minimize etmek için meteoroloji istasyonu yükseltisine yakın yerlerden seçilmiş ve tohumlar bizzat araştırmacı tarafından toplanmıştır.

Yine biyoiklim sınıflamasında S, bir bölgenin yaz kuraklığı indisini ifade etmekte olup bu indisin azalması ile o bölgenin yaz kuraklığı şiddeti artmaktadır. Yapılan transpirasyon analizlerinde stoma kontrolünün başlamasına kadar geçen süre ile yaz kuraklığı indisi arasında önemli bir ilişki gözlenmiştir. Yaz kuraklığı indisi düşük olan Nallıhan (1.1), Karaman (1.1), Çerkeş (3.6), Kargı (3.6) ve Yozgat (2.5) orijinleri stoma kontrolüne 30. dakikada başlamış, yaz kuraklığı indisi orta sırada olan Kızılcahamam (3) orijini 45. dakikada stoma kontrolüne başlarken, yaz kuraklığı indisi en yüksek olan Dirgine (4.8) orijini 60. dakika da stoma kontrolüne başlayabilmiştir (Tablo 4.1). Nitekim yaz kuraklığı indisi en düşük olan Karaman ve Nallıhan orijinleri transpirasyon analizleri sonucunda kuraklığa en dayanıklı orijinler arasında yer alırken, yaz kuraklığı indisi en yüksek olan Dirgine araştırmadaki en dayanıksız orijin olmuştur. Bu durumda yaz kuraklığı indisi düşük olan bir bölgeyi temsil eden bitkilerin kuraklığa daha dayanıklı oldukları söylenebilir. Çalikoğlu (2002) da bölgelerin yaz kuraklığı indisi azaldıkça o bölgeleri temsil eden orijinlerin kuraklığa daha dayanıklı olduklarını tespit etmiştir. Yine Dirik (2000) de yapmış olduğu araştırmasında, türlerin kuraklığa dayanıklılıklarının temsil ettiği biyoklimatik bölgeler ile uyumlu olduğunu belirtmiştir. Yapılan bu çalışma yaz kuraklığı indisi açısından söz konusu araştırmacıların tespitleri ile benzerlik göstermektedir.

Esasen orijinlerin biyoiklim sınıflandırmasının transpirasyon analizi sonuçları ile paralellik göstermesi, söz konusu orijinlerin doğal yayılış alanlarında ait olduğu ekolojik koşullardaki stres faktörlerine kendilerini adapte etmeleri ile açıklanabilir (Dirik, 1994).

Türkiye Silvikültüründe büyük bir öneme sahip olan Anadolu Karaçamı daha önce benzer şekilde transpirasyon tutumları bakımından çeşitli araştırmalara konu edilmiştir (Aussenac, 1980; Larsen ve Suner, 1986; Dirik, 1994; Lebourgeois, 1998; Çalikoğlu, 2002). Söz konusu araştırma sonuçları, aşağıda bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Aussenac (1980), Gökner ve Karaçamın alt türlerinin, transpirasyon yolu ile su kaybına karşı olan dirençlerini benzer bir çalışma ile ortaya koymuştur. Araştırmacının elde ettiği sonuçlara göre Türkiye orijinli Anadolu Karaçamı, Avusturya ve Hırvatistan orijinli Karaçamlara göre transpirasyon analizleri sonucu daha az su kaybederek kuraklığa dirençliliğini kanıtlamıştır. Araştırmacı Türkiye orijinli Anadolu Karaçamında stoma kontrolü başladığı andaki su potansiyelini (Ψ_{w1}) -10 bar, stomalar kapandığı andaki su potansiyeli değerini ise (Ψ_{w2}) -20 bar, Kütikular transpirasyon oranını 0.05 grH₂O/100 gr Kuru Ağ./dakika ve stomalar kapandığı andaki oransal su içeriğini %77.6 olarak belirlemiştir. Çalışmamızdan elde edilen bulgular, bu araştırmacının sonuçlarına benzerlik göstermektedir.

Larsen ve Suner (1986) ise Karaçam (*Pinus nigra*) orijinleri arasındaki kuraklığa ve dona dayanma farklılıklarını araştırdıkları çalışmalarında, Karaçam orijinlerinin kütikular transpirasyon miktarlarını ve deney sonunda fidanların ibrelerinde kalan su miktarlarını saptayarak orijinlerin kuraklığa karşı dayanıklılıklarını belirlemişlerdir. Buna göre araştırmacılar Çerkeş (1350 m) , M. Kemal Paşa (1000 m) ve Kızılcahamam (1450 m) orijinlerinin kütikular yolla daha az su kaybederek kuraklık koşullarına en iyi uyum sağlayabilen orijinler olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmamızdaki Çerkeş (1250 m) ve Kızılcahamam (1100 m) orijinleri de transpirasyon analizleri bakımından kuraklığa dayanıklı orijinler arasında yer alarak Larsen ve Suner (1986)'in bulgularını doğrulamıştır. Larsen ve Suner (1986)'in çalışması ile bu araştırmadan elde edilen diğer benzer bir sonuç ise kütikular yolla daha az su kaybeden orijinlerin stomalar kapandıktan sonra oransal olarak bünyelerinde daha fazla suyu tutmuş olmasıdır. Çalışmamızda da kütikular yolla daha az su kaybeden Çerkeş, Kızılcahamam, Nallıhan ve Karaman orijinleri stomalar kapandığı zaman daha yüksek bir oransal su içeriğine sahip olmuştur. Ayrıca Çalıkoğlu (2002) da açıklanan bu durumu destekleyici sonuçlar elde etmiştir. O halde Anadolu Karaçamında kütikular transpirasyon ile transpirasyonun ilk iki aşaması arasında kuvvetli (dikkate değer) bir ilişkinin olduğu ileri sürülebilir. Bu durumu, orijinlerin transpirasyon tutumlarına ait parametrelerin arasındaki ilişkileri ortaya koymak için yapılan Pearsonun korelasyon analizi ile de kanıtlanmıştır. Korelasyon analizi sonuçlarına göre transpirasyonun birinci ve ikinci aşamasındaki su potansiyeli değerleri ile Kütikular transpirasyon arasında negatif, kuvvetli ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (Tablo 4.2).

Dirik (1994), üç yerli çam türünün (Karaçam, Kızılçam, Fıstıkçamı) kurak periyottaki transpirasyon tutumlarını ekofizyolojik değerlendirmeler yaparak karşılaştırmıştır. Araştırmacı Anadolu Karaçamının Kızılçamdan az, Fıstıkçamından ise daha fazla kuraklığa dayanıklılık gösterdiğini tespit etmiştir. Araştırmacı bulgularında Anadolu Karaçamının stoma kontrolüne 45. dakikada başlayarak bu andaki su potansiyeli değerinin -8 bar olduğunu, stomaların 180. dakikada kapandığını bu evredeki su potansiyeli değerinin -25 bar olduğunu ve yine stomalar kapandığı andaki oransal su içeriğini değerinin de %67.35 olduğunu tespit etmiştir. Görüldüğü üzere bu bulgular araştırma sonucundaki bulgulara benzerlik göstermekle birlikte Dirik (2002)'in Söğüt orijinli Anadolu Karaçamından elde ettiği bulgular araştırmamızda bulunan bulgulardan fizyolojik anlamda kuraklığa dayanıklılık bakımından daha üstündür. Hemen belirtmek gerekirse araştırmacı deneylerini İstanbul Atatürk Arberetumunda bulunan 9 yaşındaki Söğüt-Antalya orijinli Anadolu Karaçamı'ndan almış olduğu sürgün örnekleri üzerinde gerçekleştirmiştir. Bu araştırmada ise 2+0 yaşında tüplü fidanlar kullanılmıştır. Olası bu üstünlüğün fidanlar arasındaki yaş farkından kaynaklanabileceği yorumu yapılabilir.

Lebourgeois ve diğ., (1998), İki farklı Karaçam varyetesi üzerinde 99 günlük periyot sonunda kuraklık etkisinin; yapraklardaki su potansiyeli değeri, fotosentez verimliliği, stoma kontrolü ve büyümeye olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada 3+0 yaşında kaplı fidanlara ait *Pinus nigra* ssp. *Laricio* var. *corsicana* ve *Pinus nigra* ssp. *Laricio* var. *calabrica* orijinleri kullanılmıştır. Çalışma sonunda iki orijin arasında kuraklığa dayanıklılık bakımından önemli farklılıklar tespit edilmemiştir. Araştırmacılar her iki orijinin de kurak dönemde stoma kontrolüne erken başlayarak transpirasyonla daha az su kaybettiklerini vurgulamıştır. Ayrıca bu orijinlerin su stresine karşı kuraklıktan kaçınan orijinler olduklarını belirtmişlerdir. Çalışmamızda da stomalarını erken kapatan orijinler kuraklığa dayanıklılık bakımından daha üstün bir performans sergileyerek bu çalışma sonuçlarına benzerlik göstermiştir.

Çalikoğlu (2002), 11 farklı Anadolu Karaçamı orijinine ait örneklerde transpirasyon tutumunu incelemiştir. Araştırmacının çalışmış olduğu Nallıhan, Kızılcahamam ve Zonguldak orijinleri çalışmamızda da transpirasyon analizlerinde kullanılmıştır. Çalikoğlu'nun söz konusu orijinlerden elde etmiş olduğu transpirasyon tutumlarına ait parametreler çalışmamızdan elde edilen verilere benzerlik göstermekle birlikte bazı

parametreler arasında belirgin farklar mevcuttur. Örneğin araştırıcı stoma kontrolü başladığı andaki su potansiyeli değerlerini; Nallıhan orijininde (-21 bar), Kızılcahamam orijininde (-18 var) ve Zonguldak orijininde (-23 bar) tespit ederken; çalışmamızda bu değerler Nallıhan (-12,5 bar), Kızılcahamam (-12 bar) ve Zonguldak-Dirgine (-13.5) bar olarak tespit edilmiştir. Söz konusu bu farklılığın analizlerin yapıldığı mevsim, laboratuvar şartları ve kullanılan cihazlardan kaynaklanabileceği kanısına varılmıştır. Bu farklılıklarla birlikte yapılan transpirasyon analizleri genel olarak değerlendirildiğinde ise benzerlikler söz konusudur. Nitekim her iki çalışmada da söz konusu 3 orijinin kuraklığa dayanıklılık bakımından sergilemiş oldukları performans benzer olup Nallıhan ve Kızılcahamam orijinleri en dayanıklı orijinler arasında yer alırken, Zonguldak orijini en dayanıksız orijin olmuştur.

5.1.2. Basınç-Hacim (P-V) Eğrisi Analizleri Sonucu Orijinlerin Kuraklığa Karşı Dayanıklılıkları

Basınç-Hacim (P-V) eğrisi analizi yöntemi, bitki su potansiyeli bileşenlerinin tespit edilmesinde etkin bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu eğrilerden elde edilen solma noktasındaki ozmotik potansiyel değeri ($\Psi\pi_0$), tam doygun haldeki ozmotik potansiyel değeri ($\Psi\pi_{100}$) ve en yüksek elastik modül (E_{max}) bitki türlerinin kuraklığa karşı olan dayanıklılıklarının belirlenmesinde etkin birer parametre olarak kullanılmaktadır (Colombo, 1987; Turner, 1998; Boyer, 1995; Bartlett ve diğ., 2012).

Yukarıda sözü edilen bu parametrelerden solma noktasındaki ozmotik potansiyel değeri ($\Psi\pi_0$); hücrede su kayıpları bakımından geri dönüşü olmayacak zararların başlayarak ölüm ya da kurumunun başladığı sınırı oluşturmaktadır. $\Psi\pi_0$ değeri yıl içerisinde mevsimlere göre değişken bir seyir izlemekte olup yılın en kurak ve en soğuk aylarında ozmotik düzenlemenin bir sonucu düşük bir seyir izlemektedir. Dolayısı ile solma noktasındaki ozmotik potansiyel değeri düşük olan tür ya da orijinin kuraklığa daha dayanıklı olması beklenir (Ritchie ve Shula, 1984; Schulte ve Hinckley, 1995; Colombo, 1987; Turner, 1988; Colombo ve Teng, 1992; Dirik, 2000; Deligöz, 2007; Zhang ve Zgeng, 2012).

Hücrenin tam turgor haline ulaştığı andaki basıncı ifade eden doygun haldeki osmotik potansiyeli değeri ($\Psi\pi_{100}$), türlere ve mevsimlere göre değişmekle birlikte 10-20 barlık yüksek değerler arasında değişim göstermektedir. Yine bu değer solma noktasındaki

ozmotik potansiyel değerine bağlı ve uyumlu bir seyir izlemektedir (Ritchie ve Shula, 1984; Dirik, 2000).

En yüksek elastik modül (E_{max}) değeri de kuraklığa karşı direncin iyi bir göstergesi olup su kayıpları sırasında turgor potansiyelinin ne kadar azaldığını ifade etmektedir. E_{max} değeri yüksek olan yani hücre elastikiyeti düşük olan bitki veya orijinlerin kuraklığa karşı daha dayanıklı oldukları belirtilmektedir (Ritchie ve Shula, 1984; Colombo, 1987; Ranney ve diğ., 1991).

Farklı biyoiklim zonlarını temsil eden 7 ayrı Anadolu karaçamı orijinleri üzerinde yapılan basınç-hacim eğrileri sonucu elde edilen bulgular yukarıdaki bilgilerin ışığı altında değerlendirildiğinde; solma ve tam doygun haldeki ozmotik potansiyelleri bakımından en düşük değerleri Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinleri sergilemişlerdir. Yine söz konusu bu üç orijin su kayıplarına karşı iyi bir fizyolojik tepki vererek en yüksek elastik modül değerlerine sahip olmuşlardır. Ayrıca yine bu 3 orijin solma noktasında içsel su gerilimlerini iyi ayarlayarak bünyelerinde daha fazla suyu tutabilmiştir (Tablo 4.3). Dirgine orijini ise belirtilen bu parametreler bakımından en düşük fizyolojik tepkimeyi veren orijin olmuştur. Kargı, erkeş ve Yozgat orijinleri ise orta düzeyde bir tutum sergilemişlerdir. O halde Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinlerinin kuraklığa en dayanıklı, Dirginenin ise en dayanıksız orijin olduğu söylenebilir.

Orijinlerin kuraklığa dayanıklılık bakımından sıralamasında yukarıda açıklanan bu durumu basınç-hacim eğrilerine ilişkin çeşitli parametrelerin aralarındaki ilişkileri gösteren Pearson'un Korelasyon Analizi sonuçları da desteklemektedir (Tablo 4.4). Nitekim analiz sonuçlarına göre, solma noktasındaki ($\Psi\pi_0$) ve tam doygun haldeki ozmotik potansiyeli ($\Psi\pi_{100}$) ile en yüksek elastik modül (E_{max}) arasında kuvvetli anlamlı ve negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Yani $\Psi\pi_0$ ve $\Psi\pi_{100}$ değerleri düşük olan orijinlerin E_{max} değerleri yüksek olmuştur.

Yine basınç-hacim eğrisi sonrası elde edilen parametrelerin kendi arasında ve değişik araştırmacılar tarafından elde edilen çalışma sonuçları ile karşılaştırılması aşağıda tartışılmıştır.

Araştırmada basınç-hacim (P-V) eğrilerinden elde edilen bulgulara göre solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi\pi_0$) değerleri bakımından, orijinler arasında çok önemli farklılıklar bulunmamaktadır. En düşük değere sahip orijin Karaman (-15.31 bar) en yüksek değere sahip orijin ise Dirgine (-12.09 bar)'dir (Tablo 4.3). O halde $\Psi\pi_0$ değeri bakımından çalışmamızda varyasyon genişliği 3.22 bar olarak tespit edilmiştir.

Tam doygun haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi\pi_{100}$) değerleri bakımından en düşük değere sahip orijin Nallıhan (-32.97 bar), en yüksek değere sahip orijin ise Dirgine (-26.28 bar)'dir (Tablo 4.3). $\Psi\pi_{100}$ değeri bakımından ise varyasyon genişliği çalışmamızda 6.69 bar olarak tespit edilmiştir.

Bu durumda çalışmamızda $\Psi\pi_0$ elde edilen 3.22 bar ve $\Psi\pi_{100}$ elde edilen 6.69 bar varyasyon genişlikleri ile orijinler arasında dar bir varyasyon olduğu söylenebilir. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda bu tespitimizi desteklemektedir. Örneğin Çalikoğlu (2002), çalışmasında, $\Psi\pi_0$ da varyasyon genişliğini 2.32, $\Psi\pi_{100}$ de 2.80 olarak tespit etmiştir. Kilis (2007) ise $\Psi\pi_0$ da varyasyon genişliğini 8.34, $\Psi\pi_{100}$ de 2.82 olarak belirlemiştir. Farklı türlerde değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda ise örneğin Guyon, (1987)'atfen Çalikoğlu (2002), *Cedrus atlantica*'da $\Psi\pi_0$ da varyasyon genişliğini 15.00, $\Psi\pi_{100}$ de 9.0, Avusturya Karaçamında $\Psi\pi_0$ da 10.0, $\Psi\pi_{100}$ de 9.0, Tüylü meşede ise $\Psi\pi_0$ da 13.0, $\Psi\pi_{100}$ de 11.0 olarak belirlemiştir. Tür içi varyasyonun değerlendirilmesinde orijin sayısının fazla tutulması ve bazı ekstrem kurak poplasyonlar ile daha yağışlı bölgelerdeki popülasyonlarında hesaba katılması yararlı olacaktır.

Çalışmamızda Anadolu Karaçamında P-V eğrisi yöntemi ile Ağustos ayı içerisinde belirlenen solma noktasındaki ozmotik potansiyeli ($\Psi\pi_0$) ve tam doygun haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi\pi_{100}$) değerleri bu alt türde daha önce yapılan araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Örneğin çalışmamızda orijinlere ait $\Psi\pi_0$ değerleri -32.97 ile -26.28 bar, $\Psi\pi_{100}$ değerleri -15.3 ile -12.09 bar arasında değişim göstermektedir. Çalikoğlu (2002) ağustos ayında $\Psi\pi_0$ değerlerini -37.26 ile -34.94 bar, $\Psi\pi_{100}$ değerleri -20.88 ile -18.35 bar, Kilis (2007) ise, $\Psi\pi_0$ değerlerini -30.39 ile -22.05 bar, $\Psi\pi_{100}$ değerleri -15.72 ile -12.90 bar arasında tespit etmiştir.

Ayrıca yine Çalikoğlu (2002)'nin araştırmasında kullandığı Nallıhan, Kızılcahamam ve Zonguldak orijinleri çalışmamızda da basınç-hacim eğrileri analizinde kullanılmıştır.

Araştırmacı Nallıhan ve Kızılcahamam orijinlerini kuraklığa karşı dayanıklı, Dirgine orijinini ise dayanıksız olarak belirlemiştir. Yapılan bu çalışma ile söz konusu bu 3 orijinin kuraklığa dayanıklılıkları benzer bulunmuştur.

Anadolu Karaçamının Ozmotik potansiyel değerleri bakımından diğer türler ile karşılaştırması yapılacak olursa; Örneğin Dirik (2000) Kızılçam orijinleri üzerinde yapmış olduğu çalışmada $\Psi\pi_0$ değerini ortalama -33.24, $\Psi\pi_{100}$ değerini ise -17.38 olarak belirlemiştir. Çalışmamızda Anadolu Karaçamı için ise bu değerler ortalama olarak sırası ile -29,66 bar ve -14.44 bar olarak Kızılçamdan üstün belirlenmiştir. Yine çalışmamızı destekler nitelikteki bulgular çeşitli araştırmacılar tarafından da elde edilmiştir. Örneğin Genç ve diğ., (2005), Anadolu Karaçamında bu değerleri sırası ile -26,88 ve -12.70 bar, Deligöz (2007 ve 2009) Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama -23,25 ve -11.35 bar, Kilis (2007) ise -25,27 ve -13.78 ve son olarak ta Çalıkoğlu (2002) $\Psi\pi_0$ -36.00, $\Psi\pi_{100}$ -19.44 bar olarak belirlemiştir. Bu verilerin ışığı altında Anadolu Karaçamının en az Kızılçam türü kadar kuraklığa karşı iyi bir osmotik düzenleme yaptığı hatta Kızılçam türüne göre Kuraklığa daha dayanıklı bir tür olduğu kanısına varılabilir. Bu arada unutulmamalıdır ki yukarıda varılan kanıya farklı yöre ve yükseltilere ait tüm çalışmalarda Kızılçam ve Karaçam orijinlerinden elde edilen örneklerin ortalama osmotik potansiyel değerleri alınarak varılmıştır. Ayrıca sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından farklı cihazlarla ölçüldüğünden olası farklılıklar da göz ardı edilmemelidir. Türler arası kuraklığa dayanıklılık çalışmalarında daha iyi sonuçlar almak için aynı ortam ve yükselti koşullarından elde edilen örnekler ile değerlendirme yapmanın daha doğru olacağı düşünülmektedir.

Genç ve diğ., (2005) ise yapmış oldukları çalışmada Toros Sederinde $\Psi\pi_0$ değerini -31,63, Boylu Ardıçta -32,28, Kokulu Ardıçta -27,65 ve Diken Ardıçta -25.88 bar olarak tespit etmişlerdir. Yine Semerci (2002) araştırmasında $\Psi\pi_0$ değerini Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama olarak -23,55 bar olarak tespit etmiştir. Ayrıca Royo ve diğ., (2001) Halep Çamı üzerinde yürütmüş oldukları çalışmada $\Psi\pi_0$ değerini -19 bar, Fernandez ve diğ., (1999) de *Pinus pinaster* türünde $\Psi\pi_0$ değerini temmuz ayında -19.4 bar olarak belirlemiştir. Yine Munoz (1983) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise $\Psi\pi_0$ değeri Sarıçam türünde -14 bar, Pırnal Meşesinde (*Quercus ilex*) ise -31,00 bar olarak belirlenmiştir. Bu verilerin ışığı altında çalışmamız sonucu elde edilen solma

noktasındaki ozmotik potansiyel değeri bakımından Anadolu Karaçamının ($\Psi\pi_0$ -29.66) Ardıç türlerine ve Pırnal meşesine göre kuraklığa karşı daha dayanıksız olduğu söylenebilir. Yine Anadolu Karaçamının Halep Çamına göre kuraklığa dayanıklı, Sarıçam türüne göre ise oldukça dayanıklı olduğu belirtilebilir. Anadolu Karaçamının Toros Sediri ile kuraklığa karşı eşit toleransta hatta daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Hemen belirtmek gerekirse Anadolu Karaçamının iç bölgelerdeki orijinleri dikkate alındığında Toros Sedirine göre kuraklığa daha dayanıklı olması beklenir.

Ayrıca yapılan bazı araştırmalar ile Anadolu Karaçamının dünya üzerindeki diğer Karaçam alt türlerinden kuraklığa daha dayanıklı oldukları belirlenmiştir. Nitekim Guyon (1987), yaptığı çalışmada kurak dönemde $\Psi\pi_0$ değerini -22, $\Psi\pi_{100}$ değerini ise -13 bar olarak ortaya koymuştur (Guyon 1987'e atfen, Çalikoğlu, 2002). Bu çalışmanın ortaya koyduğu sonuçlar Anadolu Karaçamının bu üstün durumunu desteklemektedir.

Anadolu Karaçamı orijinleri, en yüksek elastik modül (E_{max}) değerleri bakımından ele alındığında ise orijinler arasında farklılıklar meydana gelmiştir. E_{max} değerleri bakımından Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinleri en üstün orijinler olarak belirlenmiştir. Kargı, Çerkeş ve Yozgat orijinleri orta düzeyde bir konum sergilerken, Dirgine orijini ise en düşük E_{max} değeri ile en zayıf orijin olmuştur. Elastik modül hücrenin simplastik suyunun bir birim (ağırlık veya hacim) azalmasına karşılık turgor potansiyelinin ne kadar azaldığını ifade etmektedir (Ritchie ve Shula, 1984; Colombo, 1987; Ranney ve diğ., 1991; Çalikoğlu, 2002). Örneğin birim hacim simplastik suyun hücreden dışarı çıkabilmesi için Karaman orijinine 12.12 bar, Dirgine orijinine ise 8.46 barlık bir basınç etkisi gerekmektedir. Yine çalışmamızda E_{max} değerleri yüksek olan orijinlerin solma noktasındaki oransal su içerikleri (RW_{Czt}) de genelde yüksek olup bu durumu desteklemektedir. Anlaşıldığı üzere bir bitki hücrelerinin E_{max} değeri ne kadar yüksek ise o bitki hücrelerinin hücre çeperleri su geçişine yani su kayıplarına o derece dayanıklı olmaktadır.

Araştırmada yine basınç-hacim eğrisi yöntemi ile elde edilen solma noktasındaki oransal su içeriği (RW_{Czt}) değerleri arasında orijinler arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. En yüksek oransal su içeriğine (RW_{Czt}) sahip orijin Kızılcahamam (% 84.54), en düşük orijin ise Kargı orijini (%77.89) olmuştur. İki orijin arasında % 6.5 lik bir fark mevcuttur. Ayrıca değişik türler ile yapılan bazı araştırmalarda solma

noktasındaki oransal su içeriğinin yıl içerisinde mevsimsel bir değişim göstermediği ortaya konmuştur (Ritchie ve Shula, 1984; Schulte ve Hinckley, 1985; Grossnickle, 1988; Colombo ve Teng, 1992). Yine Anadolu Karaçamında yapılan bir başka araştırmada da solma noktasındaki oransal su içeriğinin mevsimsel bir değişim göstermediği tespit edilmiştir (Deligöz, 2007). Bu bilgilerin ışığı altında, basınç-hacim eğrileri sonucu elde edilen RW_{Czt} değerinin orijinlerin kuraklığa dayanıklılıklarının belirlenmesinde etkin bir parametre olmadığı söylenebilir. Nitekim Dirik (2000), RW_{Czt} bu değer yine yıl içinde soğuk-sıcak veya kurak-nemli mevsimlere göre anlamlı bir değişim seyri göstermediğinden, kuraklığa reaksiyon konusunda tür içi varyasyonun ortaya konulmasında belirleyici bir role sahip olmadığını belirtmiştir.

Birim kuru ağırlığa düşen simplastik su oranı (V_0/D_w) orijinlere göre değişmekle birlikte genelde $\Psi\pi_0$ ve $\Psi\pi_{100}$ değerleri düşük (yani kuraklığa dayanıklı) olan orijinlerde daha yüksek bulunmuştur. Örneğin en düşük $\Psi\pi_0$ değerleri kuraklığa karşı iyi bir performans sergileyen Nallıhan ve Karaman orijinlerinin V_0/D_w oranları daha yüksek olmuştur (Tablo 4.3). Yine Dirik (2000), Kızılçam türü ile yapmış olduğu araştırmada bu olguyu destekler mahiyette görüş belirtmektedir. Ayrıca araştırmacı V_0/D_w oranının $\Psi\pi_0$ ve $\Psi\pi_{100}$ gibi mevsimsel bir değişim sergilediğini, büyüme döneminde bu oranın yüksek uyku döneminde ise düşük olacağını bildirmektedir.

Birim kuru ağırlığa düşen simplastik su oranı (V_0/D_w) bitkilerde ozmotik düzenlemenin bir göstergesi olarak kabul edilse de yapılan Korelasyon Analizi sonunda söz konusu parametrenin $\Psi\pi_0$ ve $\Psi\pi_{100}$ değerleri ile bir ilişkisi olmadığı belirlenmiştir. Dirik (2000) ve Çalikoğlu (2002)'de bu görüşe paralel yönde görüş sunmuşlardır. O halde araştırma kapsamında V_0/D_w değerleri ile orijinleri üstünlük bakımından bir sınıflandırmaya tabi tutmak mümkün görülmemektedir.

Ayrıca basınç-hacim (P-V) eğrilerine göre kuraklığa dayanıklılık sınıflandırması yapılan orijinlerin ait oldukları biyoiklim sınıflarının özelliklerini taşıyıp taşımadığı araştırılmıştır. P-V eğrileri sonucu elde edilen parametrelerin değerlendirilmesi neticesinde, genel olarak orijinlerin temsil ettikleri biyoiklim sınıfının karakteristiklerini temsil ettikleri kanısına varılmıştır. $\Psi\pi_0$, $\Psi\pi_{100}$ ve E_{max} değerleri açısından kuraklığa en dayanıklı tespit edilen orijinlerin Emberger biyoiklim sınıflaması sonucu elde edilen yaz kuraklık indislerinin (S) düşük olduğu gözlenmiştir. Bilindiği üzere S değeri küçüldükçe

o bölgenin kuraklık etkisi artmaktadır. Örneğin düşük $\Psi\pi_0$ değerleri ile kuraklığa en dayanıklı orijinler arasında bulunan Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinlerinin S değerleri de düşük düzeydedir (Tablo 3.2). Dirik (2000), Kızılçamda yapmış olduğu araştırmada çalışmamız ile benzer şekilde $\Psi\pi_0$ değeri düşük olan orijinlerin yaz kuraklığı indislerinin (S) düşük olduğunu ortaya koymuştur. Bu bilgiler doğrultusunda solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi\pi_0$) değerleri ile orijinlerin doğal ortamlarının yaz kuraklıkları indisleri (S) arasında anlamlı ilişkiler olduğu kanısına varılabilir.

Ayrıca Cregg ve Zhang (2000), Değişik orjinlere ait Sarıçam fidanlarının kuraklık stresine vermiş oldukları tepkimeleri dönemsel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda Asya orijinli fidanların Avrupa ve sahil kesmini temsil eden fidanlara göre daha iyi bir kök yapısı, biyokütle ve su tüketimi ile yüksek bir yaşama yüzdesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacıların bu tespiti orijinlerin temsil ettikleri bölgelerin iklim özelliklerini yansıttığı görüşünü desteklemektedir.

5.2. DONA DAYANIKLILIK TESTLERİNE AİT TARTIŞMA

5.2.1. Kış Mevsiminde Yapılan Don Testlerine Ait Tartışma

5.2.1.1. *Kış Mevsimindeki İyon Sızıntısı Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları*

Anadolu Karaçam'ında 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 farklı orijin üzerinde yapılan kış testleri sonuçları düşük sıcaklıkların iyon sızıntısı yöntemi ile elde edilen Relatif İletkenlik (RC) değerleri üzerinde etkili bir faktör olduğu ortaya çıkmıştır. Bilindiği gibi Relatif iletkenliğin yüksek olması dondan oluşan zarar miktarının artışı ifade etmektedir. Çalışmamızda sıcaklık derecesi düştükçe orijinlerin RC iletkenlik değerleri artış göstermiştir. Ayrıca bu artış bitkilerde stresin şiddeti ve süresi arttıkça oluşan zararın artacağı görüşüne de uygundur (Larcher, 2003).

Araştırmada tüm orijinlerin RC değerleri kontrol gruplarından önemli düzeyde farklılık göstermiştir. Örneğin orijinlerde kontrol grubunda RC değerleri 8.50 ile 11.96 arasında değişirken -40°C de orijinlere ait bu değerler 68.91 ile 74.10 arasında gözlenmiş ve bu derecede tüm fidanlar ölmüştür. Tüm orijinlerde don zararının etkisi -20°C sıcaklıkta başlamış ve sıcaklık düşüşü arttıkça zararın etkisi de artmıştır. Fakat Çerkeş orijininde

-25 ve -30 °C de eşit miktarda zarar meydana gelmiştir. Bu bilgilerin ışığı altında Çerkeş orijininin -30 °C sıcaklıklara kadar dayanabileceği söylenebilir. Ayrıca Larsen ve Suner (1986), Anadolu Karaçamı orijinleri ile yapmış oldukları çalışmada Çerkeş orijininin dona en dayanıklı orijin olduğunu belirtmiş, genel olarak Anadolu Karaçamı orijinlerinde don zararının -15.9 ile -27.3 °C sıcaklıklar arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Yine Semerci (2005) de Anadolu Karaçamı orijinleri ile yapmış olduğu çalışmada iyon sızıntısı yöntemi sonucu, orijinlere ait fidanların ölüm sınırınının -20 ile -25 °C olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda çalışma sonuçları bu iki araştırmacının görüşlerine paralellik göstermektedir. Ayrıca Suitanen ve diğ., (1992) İyon sızıntısı yöntemini kullanarak 45 yaşında Avusturya Karaçamı ibreleri üzerinde don testlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucu iyon sızıntısının Avusturya Karaçamında Mart ayında -20 ile -25 °C ler de arttığını, -45 ile -65 °C ler arasında ise daha da arttığını belirtmiştir.

Çalışmamızda Kış mevsiminde RC ile yapılan dona dayanıklılık sıralamasında orijinler arasında anlamlı farklar olduğu belirlenmiştir. Nitekim yapılan istatistiki analizler sonucunda -20 ve -30 °C de orijinler 2 farklı, -25 °C de 3 farklı gruba ayrılmışlardır. Bu durumda Anadolu Karaçamında RC değerleri göz önünde bulundurularak dona dayanıklılık bakımından tür içi varyasyonun belirgin olduğu söylenebilir. Ayrıca bazı araştırmacılar da Anadolu Karaçamında dona dayanıklılık bakımından tür içi bir varyasyon olduğunu bildirilmektedirler (Larsen ve Suner, 1986; Semerci, 2005; Semerci ve diğ., 2008). Yine aynı şekilde Alptekin (1986) tarafından yapılan coğrafik varyasyon çalışmasında, morfolojik bakımdan popülasyonlar arasında farklar bulunmuş olması, bu alt tür içindeki popülasyonlar arasında, don ve kuraklığa dayanıklılık bakımından bazı fizyolojik farklar olabileceğini göstermektedir.

Orijinlerin farklı sıcaklıklarda dona karşı dayanıklılıkları ele alındığında ise (Tablo 4.6), -20 °C de en düşük RC değeri ile Karaman, Kargı, Çerkeş, Kargı, Yozgat orijinleri en dayanıklı orijinler olurken; en yüksek RC değeri ile Kızılcahamam ve Dirgine en dayanıksız orijinler olmuştur. -25 °C de ise Kargı, Karaman ve Çerkeş orijinleri en dayanıklı; Dirgine ise en dayanıksız orijin olmuştur. -30 °C ise don zararı etkisini göstermeye başlamış olmakla birlikte bu sıcaklık kademesinde Çerkeş orijini en az

zararı görmüştür. -40°C de ise tüm orijinlere ait fidanlar aynı oranda zarar görek hayatını kaybetmiştir.

RC değerleri bakımından tüm orijinler topluca değerlendirildiğinde; düşük sıcaklık kademelerinden az etkilenen orijin Çerkeş orijini, en çok etkilenen orijin ise Dirgine orijini dir.

Anadolu Karaçamının orijinleri arasında görülen dona dayanıklılık farkının oluşmasında orijinlerin yayılış gösterdikleri iklimin etkili olduğu yine bu çalışmaya göre söylenebilir. Farklı biyoiklim kuşaklarını temsil eden orijinler, temsil etikleri biyoiklim kuşağının özelliklerini yansıtmışlardır. Örneğin Emberger biyoiklim sınıflamasında son derece soğuk-az yağışlı iklim kuşağında bulunan Çerkeş orijini, RC değeri bakımından dona en dayanıklı orijinler arasında tespit edilmiştir.

Yukarıda açıklanan bu durumu destekler nitelikte sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından da elde edilmiştir. Aldrete ve diğ., (2008) kuzey ve güney enlemlere ait 9 farklı orijinden yetiştirilen *Pinus greggii* fidanları ile dona dayanıklılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda elektiriksel iletkenlik test sonuçlarına göre kuzey ve güney enlemleri temsil eden fidanlar arasında dona dayanıklılık bakımından farklılıklar tespit edilmiştir. Şubat ayında kuzey enlemleri temsil eden orijinlerde don zararı -18°C başlamış güney enlemleri temsil edenlerde ise -12°C de başlamıştır. Nisan ayında ise don zararı kuzey enlemlere ait orijinlerde -11°C , güney enlemlere ait orijinlerde ise -9°C de başlamıştır.

Grossnickle (1992), *Thuja plicata* fidanları ile gerçekleştirdiği don iyon sızıntısı yöntemi ile *Thuja* fidanlarında kışın don zararının (LT_{50}) -20°C de başladığını, ilkbaharda ise -6°C de başladığını belirlemiştir. Ayrıca araştırmacı kışın tam doymun haldeki osmotik potansiyel- $\psi_{\pi 100}$ (-15.7 bar) ve solma noktasındaki osmotik potansiyel- $\psi_{\pi 0}$ (-24.3 bar) değerlerini diğer aylara göre daha düşük tespit etmiştir. Yine başka bir araştırmada, *Pinus monticola* türüne ait fidanlarda iyon sızıntısı yöntemi ile -11°C de %4 lük bir don zararı, -20°C de ise %83 lük bir don zararı tespit edilmiştir (Lu ve diğ., 2003). Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere sıcaklık derecesi düştükçe fidanlarda meydana gelen don zararı da artmıştır.

5.2.1.2. Kış Mevsimindeki Klorofil Floresans Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları

a- Fotosentetik Verimlilik (F_v/F_m)

Klorofil floresans (CF) yöntemi hızlı ve güvenilir bir şekilde, strese dayanıklı ağaçların belirlenmesinde özellikle don ve hava kirliliği gibi streslerin oluşturduğu zararın belirlenmesine kullanılmaktadır. Bitkilerde fotosentetik aktivitenin belirlenmesinde en yaygın kullanılan oran F_v/F_m oranıdır. Bu oran PSII de absorblanan ışığın maksimum verimidir ve normal koşullar altındaki bitkide $0,832 \pm 0,004$ olduğu ve bu değer stres koşullarında azaldığı bildirilmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Burr ve diğ., 2001; Kocheva ve diğ., 2004; Semerci, 2005; Hironelle ve diğ., 2006).

Araştırmamızda düşük sıcaklık derecelerine maruz bırakılmayan orijinlere ait fidanlarda F_v/F_m oranı 0,830, -40 °C ise 0.047 olarak ölçülmüştür. Ayrıca kontrol grubu fidanları ile -20 ve -25 °C ye tabi tutulan fidanlar arasında F_v/F_m değerleri bakımından farklar mevcuttur. Dolayısıyla F_v/F_m değerlerine dayanarak, Anadolu Karaçamında fotosentetik zararın bu sıcaklık derecelerinde başladığı söylenebilir. Semerci (2005) de çalışmasında aynı sıcaklık kademelerinde Anadolu Karaçamı orijinlerinde fotosentetik zararın başladığını ifade etmiştir. Ayrıca yukarıda açıklanan bu sonuç iyon sızıntısı yöntemi sonuçları ile de benzerlik göstermektedir. Yine iyon sızıntısı yönteminde olduğu gibi Çerkeş orijini yüksek F_v/F_m değerleri ile -30 °C sıcaklıklara kadar dayanmaktadır.

Farklı türlerde yapılan dona dayanıklılık çalışmalarında yine sıcaklık düşüşü ile birlikte F_v/F_m oranının azaldığı, düşük sıcaklık derecesi ve süresinin artması ile bu oranda aşırı düşüşler gözlemlendiği bildirilmektedir (Kocheva ve diğ., 2004; Hironelle ve diğ., 2006).

Yine farklı türlerde yapılan bazı çalışmaların sonuçları incelendiğinde; Bares (2007) farklı yetiştirme ortamlarını temsil eden 2 yaşındaki *Quercus oleoides* ve *Quercus virginiana* fidanları ile şubat ayında 0, -2, -5 ve -10 °C de yapmış olduğu don testleri sonucunda; daha güney enlemde ve ılıman bölgede yetişen *Quercus oleoides* fidanlarının F_v/F_m değerlerini 0.200-0.100 arasında belirleyerek don zararının -10 °C de başladığını tespit etmiştir. Daha kuzey enlemdeki North Carolina orijinli *Quercus virginiana* fidanlarının ise F_v/F_m değerini 0.800 olarak tespit ederek -10 °C de dondan zarar görmediğini tespit etmiştir. Pina ve diğ., (2008) de Sançam ibreleri üzerinde kışın

gerçekleştirdikleri don testleri sonucunda, Sarıçamda don zararının F_v/F_m oranına göre -27.5 °C, elektiriksel iletlenlik testi sonuçlarına göre -25 °C ve görsel değerlendirme yöntemine göre de -25.2 °C de başladığını tespit etmişlerdir.

F_v/F_m oranları göz önünde bulundurularak dona dayanıklılık bakımından Anadolu Karaçamında tür içi varyasyon olduğu belirtilebilir. Semerci (2005) ile Semerci ve diğ., (2008) yapmış oldukları çalışmada Anadolu Karaçamında F_v/F_m değerleri bakımından tür içi varyasyon olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmamız ile Semerci (2005)' in araştırması arasında F_v/F_m değerleri bakımından ilgi çekici bir durum göze çarpmaktadır. Semerci (2005) yapmış olduğu çalışmada her ne kadar don zararının -20 °C ile -25 °C arasında başladığını belirtse de ölçümlerinde kontrol grubu ile -20 °C maruz bıraktığı fidanların F_v/F_m değerleri bakımından bir farklılık bulamamıştır. Araştırmacı -20 °C de F_v/F_m oranlarını $0,797$ ile 0.839 arasında tespit etmiştir. Çalışmamızda ise -20 °C de F_v/F_m oranları 0.408 ile 0.630 arasında değişmektedir. Oluşmuş olan bu fark, don testlerinin farklı ortam koşullarında yapılmış olmasından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca Semerci (2005), don testleri sırasında kök sıcaklığını koruma altına almamıştır. Bu çalışmada ise daha önce açıklandığı gibi kök sıcaklıkları koruma altına alınmıştır. Yine bu farkın; farklı orijinler ile çalışılmış olması, farklı cihaz ve kişiler tarafından ölçüm yapılması gibi farklılıklardan oluştuğu düşünülebilir.

Yine Semerci (2005), yapmış olduğu çalışmasında; -40 °C, Mengen (935 m), Göksun (1650 m) ve Akifiye (1450 m) orijinlerinde F_v/F_m değerleri bakımından az da olsa fotosentetik aktivitenin devam ettiğini açıklamıştır ($0.369-0.425$). Çalışmamızda ise yine bu orijinler gibi yüksek rakımdaki Yozgat (1450 m), Kargı (1400 m) ve Karaman (1350 m) orijinlerinde F_v/F_m değerleri çok düşük bulunmuş ($0.043-0.057$), fotosentetik aktivitenin durduğu tespit edilmiştir. Yükselti kuşakları neredeyse benzer olan orijinler arasındaki bu farkın çalışma ortamı koşulları ve farklı cihaz kullanımından kaynaklanmış olabileceği ileri sürülse de farkın daha iyi anlaşılabilmesi için söz konusu orijinleri başka bir çalışma ile aynı ortam koşullarında teste tutmanın faydalı olacağı görülmektedir.

Orijinlerin F_v/F_m oranları ile sıcaklık kademelerindeki dona dayanıklılıkları sıralandığında, -20 °C de en fazla zararı Dirgine orijini görürken diğer orijinler nerdeyse eşit oranda zarar görmüştür. -25 °C orijinler arasında F_v/F_m oranları bakımından istatiki

bir fark olmamakla birlikte en fazla zararı yine Dirgine orijini, en az zararı ise Karaman orijini görmüştür. -30°C de ise Çerkeş orijini en dayanıklı orijin olmuştur. -40°C de ise tüm orijinlerin fotosentetik aktiviteleri durmuştur. Bu bilgilerin ışığı altında F_v/F_m oranı bakımından genel anlamda dona en dayanıklı orijinler Çerkeş, Karaman ve Kargı orijinleri olurken; Dirgine dona en dayanıksız orijin olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, orijinlerin RC değerleri bakımından yapılan dona dayanıklılık sıralaması ile benzerlik göstermiştir.

b- Minimum Floresans Verimi (F_0)

Kış mevsiminde (-20 , -25 , -30 ve -40°C) yapılan don testlerinde sıcaklık azalması ile Minimum Floresans Verimi de (F_0) artmıştır. Düşük sıcaklık uygulamaları sonrasında F_0 da foton zararına bağlı olarak aniden bir artış olacağı, çeşitli araştırmacılar tarafından da bildirilmektedir (Maxwell ve Johnson, 2000; Semerci, 2005).

Bu çalışmada kontrol grubu fidanları ile -20 ve -25°C ye tabi tutulan fidanlar arasında F_0 değerleri bakımından farklar mevcuttur. Dolayısıyla F_0 değerlerine dayanarak Anadolu Karaçamında fotosentetik zararın bu sıcaklık derecelerinde başladığı söylenebilir. Aynı şekilde Semerci (2005) de çalışmasında benzer değerlere ulaşmıştır. Ayrıca F_0 değerleri bakımından Çerkeş orijini -30°C sıcaklıkta yine en az zarar gören orijin olmuştur. Elde edilen bu bulgular iyon sızıntısı ve fotosentetik verimlik sonuçlarından elde edilen bulgular ile benzerlik göstermektedir.

Sıcaklık kademelerinde orijinlerin F_0 değerleri bakımından sıralaması yapıldığında ise (Tablo 4.10); -20°C de en düşük F_0 değerleri ile Karaman ve Çerkeş orijini en az zararı görmüş, Dirgine orijin ise en yüksek F_0 değeri ile en fazla zarara uğramıştır. -25°C de ise en az zararı Karaman orijini, -30°C de ise Çerkeş orijini görmüştür.

c- Maksimum Floresans Verimi (F_m)

Kış mevsiminde farklı sıcaklık kademelerinde meydana gelen don zararını belirlemek için karanlığa adapte edilmiş fidanlarda ölçülen maksimum floresans veriminin (F_m) sıcaklık düşüşü ile genel olarak azaldığı belirlenmiştir. Fakat bazı sıcaklık kademelerindeki F_m değerlerinde ise artış gözlenmiştir. Maksimum floresans veriminin (F_m) stres koşulları altında zararın başladığı sıcaklık derecesine kadar genellikle

azaldığı, zarar veren sıcaklık kademelerinde ise düşüş göstermediği bildirilmektedir (Roger ve Weiss, 2001). F_v/F_m katsayısı değiştiğinde ise F_0 oranı genellikle F_m değerinden ayrı olarak artmaktadır (Roger ve Weiss, 2001).

Bu durumda yukarıdaki bilgilerin ışığı altında don zararı sonucunda oluşan yararlanmanın Maksimum Floresans (F_m) değeri üzerinde bir etkisinin bulunmadığı ve (F_m) değerinin don zararının belirlenmesinde iyi bir gösterge olmayacağı söylenebilir. Ayrıca yapılan korelasyon analizleri neticesinde (Tablo 4.23) F_m değeri diğer tüm parametreler ile zayıf bir ilişki içerisinde bulunmuştur. Ayrıca Semerci (2005)'de F_m değerinin don zararının belirlenmesinde etkili bir parametre olmadığını belirtmiştir.

5.2.1.3. Kış Mevsimindeki Görsel Değerlendirme Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları

Kışın yapılan görsel değerlendirme yönteminde, kontrol gurubunda orijinler arasında tüm fidanların yaşama yüzdesi aynı olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.13). Sıcaklığın -20°C ye düşmesi ile orijinlere ait fidanların yaşama yüzdelerinde düşüş yaşanmıştır. Yaşama yüzdelerindeki bu düşüş sıcaklık oranı düştükçe devam etmiştir. Görsel değerlendirme sonuçlarına göre Anadolu Karaçamında düşük sıcaklık etkisi -20°C de başlamaktadır.

Görsel değerlendirme yöntemi, orijinler arasında değerlendirildiğinde Kargı ve Çerkeş orijinleri yüksek yaşama yüzdeleri ile dona karşı en dayanıklı orijinler olmuşlardır. Dirgine, Yozgat ve Kızılcahamam orijinleri ise düşük yaşama yüzdeleri ile dona en dayanıksız orijinler olmuşlardır.

Görsel değerlendirme yöntemi ile elde edilen bu bulgular, iyon sızıntısı ve Klorofil floresans yönteminden elde edilen orijinlerin dona dayanıklılık sıralamasına benzerlik göstermektedir. Yine Hironnelle ve diğ., (2006) yapmış oldukları çalışmada iyon sızıntısı ve görsel değerlendirme yöntemi ile dona dayanıklılık sonuçlarını benzer olarak tespit etmişlerdir .

5.2.2. İlkbaharda Yapılan Don Testlerine Ait Tartışma

5.2.2.1. İlkbahar Mevsimindeki İyon Sızıntısı Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları

Anadolu Karaçam'ında 6 farklı biyoiklim zonunu temsil eden 7 farklı orijin üzerinde yapılan ilkbahar test sonucunda, düşük sıcaklıkların iyon sızıntısı yöntemi ile elde edilen Relatif İletkenlik (RC) değerleri üzerinde etkili bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Sıcaklık düşüşü ile birlikte elde edilen RC değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Uygulanan düşük sıcaklık (-5, -10 ve -15 °C) kademeleri sonucu Anadolu Karaçamı orijinlerinde ilkbaharda don zararının -5 °C ile -10 °C arasında başladığı görülmektedir. Yine Larsen ve Suner (1986) yapmış oldukları çalışmada Anadolu Karaçamında nisan ayında don zararının -8 °C ile -10 °C arasında, Semerci (2005) ise -3 °C ile -7 °C arasında değiştiğini tespit etmiştir. Araştırmamızdaki bulgular bu iki araştırmacının tespitlerine benzerlik göstermektedir.

İlkbahar ayında uygulanan düşük sıcaklık kademelerinde ise tüm orijinler düşük sıcaklık kademelerinden aynı oranda zarar görmüş ve orijinler arasında bir farka rastlanmamıştır. Kışın ise Anadolu Karaçamında don zararı -20 °C ile -25 °C arasında başlamıştır. Bu bulgulara göre Anadolu Karaçamında dona dayanıklılık mevsimsel bir değişim göstermektedir. Zaten tespit edilen bu durum genel olarak beklenen bir sonuçtur. Çünkü sonbaharda büyümenin durması ile bitkilerde soğuğa uyum başlamakta, kış soğukları ile dona dayanıklılık artmakta, baharda ise hızlı bir şekilde düşmektedir (Linden, 2002; Larcher, 2003). Benzer şekilde Larsen ve Suner (1986), Suitanen ve diğ., (1991) ile Semerci (2005) de Anadolu Karaçamının dona dayanıklılık bakımından mevsimsel bir değişim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yine benzer şekilde gerçekleştirilen bir başka araştırmada ilkbaharda yapılan dona dayanıklılık çalışmalarında; *Pseudotsuga menziesii*'nin yazın -4 °C, *Pinus radiata*'nın -6 °C ve *Pinus muricata*'nın -5.5 °C sıcaklıklara kadar dayanabildikleri tespit edilmiştir (Menzies 1981'e aften, Semerci, 2005).

5.2.2.2. İlkbahar Mevsimindeki Klorofil Floresans Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları

İlkbahar ayında yapılan dona dayanıklılık testlerine göre, klorofil floresans ölçümlerinde tıpkı kış ayında uygulanan testler gibi Maksimum floresans veriminin (F_m) don zararının belirlenmesinde etkili bir gösterge olmadığı belirlenmiştir (Bakınız bölüm 5.2.1.2). Bu yüzden Fotosentetik verimlik F_v/F_m ve Minimum floresans verimi F_0 değerlendirmeye alınmıştır. Söz konusu bu parametre değerleri göz önüne alındığında genel olarak ilbaharda don zararı tıpkı iyon sızıntısı yönteminde olduğu gibi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında başlamış, sıcaklık kademelerinde orijinler arasında bir fark meydana gelmemiştir.

Yine yukarıda çalışma sonuçlarımıza benzer şekilde bir başka araştırmada Semerci (2005) ilbaharda klorofil floresans ölçümleri ile Anadolu Karaçamında don zararının $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında başladığını belirtmiştir. Ayrıca yine aynı araştırmacı orijinler arasında ilbaharda don zararı açısından bir farklılık meydana gelmediğini de belirtmiştir.

5.2.2.3. İlkbahar Mevsimindeki Görsel Değerlendirme Yöntemine Göre Orijinlerin Dona Dayanıklılıkları

İlkbahar mevsiminde yapılan görsel değerlendirme yönteminde, fidan yaşama yüzdeleri değerlerinden (Tablo 4.22) anlaşılacağı üzere don zararının yine iyon sızıntısı ve klorofil floresans yöntemlerinde olduğu gibi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında başladığı anlaşılmaktadır. Ayrıca görsel değerlendirme yönteminde de genel olarak sıcaklık kademelerinde orijinler arasında farklılık gözlemlenmemiştir.

5.3. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Anadolu Karaçamının dona ve kuraklığa karşı olan dayanıklılıklarının belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçların genel bir değerlendirilmesi yapılarak aşağıda fidanlık ve ağaçlandırma çalışmalarında uygulamalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anadolu Karaçamı orijinleri üzerinde yapılan transpirasyon analizleri sonucunda elde edilen bulgulardan, stoma kontrolünün başlama süresi (T_1), bu andaki su potansiyeli

değeri (Ψ_{w1}), kütikular transpirasyon ve stoma kapandığı andaki oransal su içeriği (R_{wcII}) değerleri kuraklık direncinin belirlenmesinde iyi bir gösterge olabilir. Yine Basınç hacim eğrisi araştırmaları sonucu elde edilen doygun haldeki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi100}$), solma noktasındaki ozmotik potansiyel ($\Psi_{\pi0}$) ve en yüksek elastik modül (E_{max}) değerleri türlerin kuraklığa karşı dayanıklılıklarının belirlenmesinde kullanılan en etkin parametreler oldukları belirtilebilir. Yapılan korelasyon analizi sonuçlarında bu parametreler arasında kuvvetli ve anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.

Ağaç türlerinin gelişme dönemi içerisinde ve durgun olduğu dönemlerde ozmotik basınç değerlerindeki farklılaşma, o ağaç türünün bulunduğu ortam ve yöre şartlarına uyumun tespitinde belirleyici bir etmen olacaktır. Yine belirli dönemlerde, alınan örneklerle yapılan basınç-hacim eğrileri sonucu elde edilen ozmotik potansiyel değerlerinden yola çıkarak ağaç türlerinin kuraklık ve don etkilerine karşı olan uyumu ve dayanıklılığı hakkında bilgi sahibi olunabilir (Dirik, 2000; Deligöz, 2007).

Kuraklığa dayanıklılık bakımından orijinler temsil ettikleri biyoiklim sınıflarının karakteristiklerini yansıtmışlardır. Nitekim solma noktasındaki ozmotik potansiyel değerleri ($\Psi_{\pi0}$) ile orijinlerin doğal ortamlarının yaz kuraklığı indisleri (S) arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Yaz kuraklığı indisi (S) düşük olan orijinlerin solma noktasındaki ozmotik potansiyel değerleri ($\Psi_{\pi0}$) de düşük olmuştur.

Dona dayanıklılık testlerinde kullanılan relatif iletkenlik (RC) ve fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) değerlerinin, orijinlerin dona karşı dayanıklılıklarının gruplandırılmasında önemli birer kriter olabileceği bu çalışma sonuçlarına göre söylenebilir. Yapılan korelasyon analizleri neticesinde de bu iki parametre arasında kuvvetli, anlamlı bir ilişki gözlenmiştir.

Kışın yapılan dona dayanıklılık testleri ile Anadolu Karaçam'ında kışın don zararının -20 ile -25 °C arasında başladığı belirlenmiştir. Ayrıca Amerikan Tarım ve Ormancılık Servisi tarafından (USDA) türlerin doğal yayılış alanlarındaki düşük sıcaklıklardan etkilenme derecelerinde oluşturmuş oldukları zonda, Karaçamın -23.3 ile -28.8 °C sıcak derecesinde zarar görmediği bildirilmektedir (Bannniester ve diğ., 2001). Yine kış testlerinde düşük sıcaklık kademelerinde orijinler arasında farklılıklar meydana

gelmiştir. Bu durum Anadolu Karaçamında kış aylarında dona dayanıklılık bakımından tür içi varyasyonun varlığını kanıtlamaktadır.

Bilindiği gibi dona dayanıklılık, bitkilerin uyku halinin hangi aşamada olduğu ile yakından ilişkilidir. Genellikle derin uyku döneminde dona dayanıklılık en yüksek düzeyde iken uykudan çıkış ve uykuya giriş dönemlerinde daha düşük olmaktadır (Burr, 1990; Hironelle ve diğ., 2006). Yapılmış olan bu çalışma ile İlkbahar don testlerinde Anadolu Karaçamında don zararı -5 ile -10 °C arasında başlamıştır. Aynı çalışmada sıcaklık kademelerinde ise orijinler arasında herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir.

Yeryüzünde bitkilerin yayılışı iklimle kuvvetli bir ilişki göstermektedir. Benzer şekilde yağış ve sıcaklık faktörleri bitkilerin yayılışında etkili olan en önemli iki parametredir. Kışın görülen düşük sıcaklıklara bitkinin göstermiş olduğu dayanıklılık, bitkinin yayılış alanını belirleyen önemli bir faktördür. Genel olarak soğuk bölgelerde yayılış gösteren bitki türleri, sıcak bölgelerde yayılış gösteren türlere kıyasla dona daha dayanıklıdır.

Çalışmada dona dayanıklılık bakımından yüksek mıntikalarda, kuvvetli soğukların gözlemlendiği yörelere ait orijinlerin, dona daha dayanıklı oldukları tespit edilmiştir (Tablo 3.3).

Bitkiler düşük sıcaklıklar sonucu oluşan üşüme ve don stresine tolerans sağlamak ve korunmak için farklı mekanizmalar geliştirmektedirler. Bu mekanizmaların biyofiziksel, biyokimyasal ve moleküler olarak daha detaylı araştırılması sonucu bitkilerin soğuğa dayanımı konusunda önemli sonuçlar elde edilebilir. Böylelikle dünya üzerinde bitkilerin yayılış sınırlarını belirleyen en önemli faktörlerden biri olan düşük sıcaklıklara daha dayanıklı bitki türleri seçilebilir ve bu konuda yapılacak ıslah çalışmalarına önemli katkılar sağlanabilir. Ayrıca düşük sıcaklık stres mekanizması için elde edilen bilimsel veriler, kuraklık stres mekanizmasının açıklanmasına da olumlu katkı sağlayabilir.

Anadolu Karaçamı orijinlerinin kuraklığa ve dona karşı dayanıklılıkları ile temsil ettikleri biyoklimatik zonlar arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Yaz kuraklığı indisi (S) ve yağış-sıcaklık katsayısı (Q) nispeten düşük olan (daha şiddetli yaz kuraklığı) orijinler (Karaman, Nallıhan ve K.Hamam) transpirasyon ve basınç-hacim (P-V) eğrisi analizleri ile kuraklığa en dayanıklı olarak belirlenmiştir. Yine soğuk zonları

temsil eden alanlarda, mutlak minima ve en soğuk ayın minimum sıcaklık ortalama değerleri (m) düşük olan orijinler (Karaman ve Çerkeş) uygulanan testler sonucunda dona en dayanıklı orijinler olarak tespit edilmiştir.

İç Anadolu Karasal ve Akdeniz iklimi koşullarında, yıl içerisinde kuraklığın hüküm sürdüğü esas dönemin yaz ayları ve soğuk dönemin kış ayları olduğu dikkate alındığında, değerlendirmeye alınan türlerin veya türlere ait orijinlerin kuraklık ve don etkilerine karşı reaksiyonlarını belirlemek için bu dönemlerdeki fizyolojik durumlarını temel almak gerekir (Dirik, 2000). Dolayısıyla denemelere alınan orijinlerin kuraklık ve don testleri sonucu elde edilen parametre değerleri ($\Psi\pi_0$, RC, F_v/F_m) ile doğal ortamlarını temsil eden emberger biyoiklim parametreleri arasındaki (S, m) anlamlı ilişkilere dayanarak Anadolu Karaçımı'nda en kuvvetli yaz kuraklığı hüküm süren çalışmamız dışındaki doğal yayılış alanlarını temsil eden orijinlerin de, fizyolojik olarak kuraklık etkilerine karşı en kuvvetli orijinler olduğu ileri sürülebilir. Yine şiddetli kış soğuklarının yaşandığı doğal yayılış alanlarını temsil eden orijinlerin ise don etkilerine karşı en kuvvetli orijinler olduğu söylenebilir.

Tüm Türkiye genelinde yapılan Karaçım orijin denemelerinin 9. ve 25. yıl sonuçları; İç Anadolu Bölgesi deneme alanlarındaki boylanma ve yaşama yüzdelerinin diğer bölgelere oranla çok düşük olduğunu ortaya koymuştur (Şimşek ve diğ., 1995; Gökdemir ve diğ., 2012). Denemelerin 25. yıl sonuçlarına göre boylanma ve yaşama yüzdeleri bakımından, Batı Karadeniz Bölgesi (Mengen-Çoşur) ilk sırada, Marmara Bölgesi (Gemlik-Kumla) ikinci sırada, Akdeniz ardı alçak zon (Isparta-Keçiborlu) üçüncü sırada, İç Anadolu ile Akdeniz Ardı (Mut-Dağpazarı) deneme alanları son sırada yer almıştır. Bu durum da Anadolu Karaçımının özellikle İç Anadolu Bölgesinde kuraklık stresi ve benzeri çeşitli nedenlerden etkilendiğini desteklemektedir.

Yine orijin denemeleri sonuçlarında orijinler deneme alanlarında boy, çap ve hacim açısından farklılık göstermemiş, gövde formu ve yaşama yüzdesi açısından farklılık göstermiştir (İç Anadolu ve Konya-Mut deneme alanları). Örneğin Konya-Mut deneme alanında en yüksek yaşama yüzdesine sahip orijin % 93 ile Kızılcahamam olurken, en düşük yaşama yüzdesine sahip orijin %16 ile Andırın orijini olmuştur. Zira kuraklık etkisinin tipik olarak görüldüğü İç Analolu Bölgesi antropojen step alanlarındaki ağaçlandıma çalışmalarında boy ve çap gelişiminden çok fidanların yaşama yüzdeleri

daha önemlidir. Yaşama yüzdelerinde meydana gelen bu fark, fidanların dikimden sonra ortam koşullarındaki stres etmenlerine iyi ya da kötü bir fizyolojik tepki vermesi ile ilişkilendirilebilir. Çünkü ağaçlandırma alanlarında çoğu fidanlar dikimi izleyen yıllarda kuruyup ölmektedir. Ayrıca bu durum orijinlerin ait olduğu bölgenin iklim koşullarına adapte olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Yine yapılan bu çalışma ile de Kızılhamam ve Karaman orijinleri kuraklığa en dayanıklı orijinler arasında tespit edilerek bu durumu desteklemiştir. Ayrıca orijinlerin transpirasyon tutumu, kuraklığa ve dona tolerans özelliklerinin, genel hatları ile belirtilen iklimik verilere paralel bir durum göstermesi, bu araştırmanın biyoklimatik çıkış noktasının belirli ölçüde sağlam bir temele oturduğunu göstermektedir.

Ağaçlandırma çalışmalarında don ve kuraklık etkileri, başarıyı olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle dona ve kuraklığa karşı dayanıklı orijinlerin tespit edilerek gerekli teknik tedbirlerin uygulanması ile bu alanlarda başarılı orijinlerin kullanılması başarı şansını arttıracaktır. Özellikle İç Anadolu Bölgesi'ndeki kalıntı Karaçam popülasyonları koruma altına alınarak orijinin denemelerinin kesin sonuçları alınıncaya kadar ilave tedbir olarak buralardan tohum toplanarak depolanması ve benzer yöre ağaçlandırmalarında kullanılması faydalı olacaktır.

Çalışma sonuçlarına göre, özellikle İç Anadolu Bölgesinde yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında yükselti ve tohum transfer rejyonları dikkate alındığında, yaz kuraklığının daha şiddetli görüldüğü alanlarda kuraklığa karşı dayanıklı orijinler olarak tespit edilen Karaman, Nallıhan ve Kızılcahamam orijinlerinin kullanılması önerilir. Düşük sıcaklık etkilerinin görüldüğü alanlarda ise dona karşı en dayanıklı olan Çerkeş, Kargı ve Karaman orijinlerinin kullanılması tavsiye edilebilir.

Araştırmada don ve kuraklık testleri uygulanan fidanlar Bahçeköy orman fidanlığında normal şartlar altında yetiştirilmiş ve her hangi bir ilave işleme tabi tutulmamıştır. Bu anlamda fidanların belirli sulama rejimlerine tabi tutulması yine fidan üretimi sırasında fidanlara mikoriza ve belirli bitki büyüme düzenleyicileri verilerek de konunun araştırılması faydalı olacaktır. Örneğin fidanlık aşamasında fidanlara aşılana mikorizal mantarlar kuraklık direncini artırmaktadır (Doğmuş ve Lehtijarvi, 2006).

Yüksek rakımlı yörelerdeki don olayının sıkça görüldüğü alanlarda ise fidanlıklar bu yörelere yakın yerde kurulmalıdır. Ayrıca fidanların çeşitli sulama rejimleri ile kuraklığa uyumu, soğuk hava depolarında bekletilerek de soğuğa uyumlarının sağlanması ağaçlandırma çalışmalarında başarıyı arttıracaktır. Yine yüksek alanda yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında geçici orman fidanlıkları tekrar kullanıma açılarak fidan üretimi sağlanmalıdır.

Bu çalışmada laboratuvar koşulları altında ekofizyolojik araştırmalar ile Anadolu Karaçamının dona ve kuraklığa karşı olan tutumları araştırılmış ve orijinal sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmamızda denenmiş tekniklerin yanında, Anadolu Karaçamında bundan sonra yapılacak daha detaylı ekofizyolojik araştırmalarda bitkilerdeki fotosentez değişim miktarı, bitki özsuyu ölçümleri, fidan köklerinin dona dayanıklılığı gibi ilave konuların da araştırılması gereklidir. Ayrıca yapılacak çalışmalarda, laboratuvar koşullarında elde edilen sonuçların araziye apliedilip doğal ortam koşulları ile karşılaştırılması isabetli bir tercih olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkemik, Ü., 2001, A long master chronology of *Pinus nigra* Arn. and its contribution to climatology and pollen analyses, *Eurodendro book of abstracts*.
- Akman, Y., 1999, İklim ve biyoiklim (Biyoiklim metodları ve Türkiye iklimleri), Kariyer Yayın evi, Ankara.
- Alptekin, C.Ü., 1986, *Anadolu karaçamı (Pinus nigra Arn. ssp. pallasiana Lamb. Halimboe)'nin Coğrafik Varyasyonları*, Doktora Tezi İ.Ü. Orman Fakültesi, Silvikültür Anabilim Dalı.
- Aldrete, A., Mexal, J. G., Burr, K. E., 2008, Seedling cold hardiness, bud set, and bud break in nine provenances of *Pinus greggii* Engelm., *Forest ecology and management*, 255, 3672-3676.
- Anonim. 2006, *Orman Varlığımız*, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.
- Atalay, İ., Efe, R. 2010, Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana*)'nın ekolojisi ve tohum nakli açısından bölgelere ayrılması. *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü, Çeşitli yayınlar serisi No:4, Bakanlık yayın no:424 Müdürlük yayın no:37*, Ankara.
- Atay, İ., 1959, Karaçam'ın (*Pinus nigra* var. *pallasiana*) tohumu üzerine araştırmalar, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 9 (1).
- Aussenac, G., 1980, Comportement hydrique de rameaux excisés de quelques espèces de sapins et de pins noirs en phase de dessiccation. *Ann. sci. forest*, 37 (3), 201-215.
- Bannister, P., Neuner, G., 2001, *Frost resistance and the distribution of conifers*. Conifer Cold Hardiness, In: Bigras, F. J. and Colombo, S. J. (ed), Chapter 1, Kluwer Academic Publishers, 3-21.
- Baquedano, F. J., Castillo, F. J., 2007, Drought tolerance in the Mediterranean species, *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, and *Juniperus phoenicea*, *Photosynthetica* 45 (2), 229-238.
- Bares, J. C., 2007, Chilling and freezing stress in live oaks (*Quercus* section *Virentes*): intra- and inter-specific variation in PS II sensitivity corresponds to latitude of origin, *Photosynth research*, 94, 437-453.
- Bartlett, M. K., Scoffoni, C., Sack, L., 2012, The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought Tolerance of species and biomes: a global meta-analysis, *Ecology letters*, 15, 393-405.

- Beck, E. H., Heim, R. H., Hansen, J., 2004, Plant resistance to cold stress: Mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening, *Indian academy of sciences, journal biosci.* 29 (4), 449-459.
- Bigras, F. J., 2005, Photosynthetic response of white spruce families to drought stress, *New forest*, 29, 135-148.
- Bigras, F. J., Ryyppö, A., Lindström, A., Stattin, E., 2001, *Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings*. Conifer Cold Hardiness, In: Bigras, F. J. and Colombo, S. J. (ed.), Chapter 3, Kluwer Academic Publishers, 57-89.
- Bigras, F.J. 1998, Field performance of containerized black spruce seedlings with root systems damaged by freezing or pruning, *New. for.* 15, 1-9.
- Bongarten, B. C., Teskey, R. O., 1986, Water relations of loblolly pine seedlings from diverse geographic origins, *Tree physiol.* 1 (3), 65-76.
- Bigras, F. J., 1997, Root cold tolerance of black spruce seedlings, viability tests in relation to survival and regrowth, *Tree physiology* 17, 311-318.
- Boydak, M., 1982, Karaçam (*Pinus nigra* Arnold var. *caramanica* (Loud.) Rehd.) tohumlarının olgunlaşma zamanı ve saklama süreleri arasındaki ilişkiler, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 32 (2), 199-218.
- Boydak, M., Çalışkan, S., 2014, *Ağaçlandırma*, OGEM-VAK Ormancılığı Geliştirme ve Orman Yangınları ile Mücadele Hizmetlerini Destekleme Vakfı Yayınları, Ankara, ISBN:978-975-93943-8-7.
- Boydak, M., Dirik, H., 1990, Lübnan Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) fidanlarında su stres ile koşullandırmanın dikim sonrasındaki su durumu ve kök regenerasyonuna etkileri, *Uluslararası sedir sempozyumu bildirileri*, 22-27 Ekim 1990 Antalya, Ankara, Orman Bakanlığı, 193-202.
- Boydak, M., Ertaş, A., Çalışkan, S., 2010, Kurak ve yarıkurak bölgelerin ağaçlandırılmasında ilkeler ve uygulama esasları. *Çölleşme ile mücadele sempozyumu*, 17-18 Haziran 2010 Çorum, Ankara, Orman Bakanlığı, 370-382.
- Boyer, J. S., 1995, *Measuring the water status of plants and soils*, Academic Press Inc. United States of America, ISBN: 0-12-122260-8.
- Bozkuş, H. F., Tanrıverdi, H., 1992, Çevre koruma ve düzenlemede ormanlar, *Türk devletleri arasında 1. ilmi işbirliği konferansı*, 22-24 Haziran, Lefkoşa, 59-167.
- Browse, J., Xin, Z., 2001, Temperature sensing and cold acclimation, *Current opinion in plant biology*, 4, 241-246.
- Bryant, E.A., 1993, Naturel hazards, *Cambridge University Press*.

- Buchmann, N., 2002, Plant ecophysiology and forest response to global change, *Tree physiology* 22, 1177-1184.
- Burr, K. E., 1990, Target seedling concepts: bud dormancy and cold hardiness, *Proc. of the target seedling symposium*, 13-17 August 1990 Roseburg, Oregon-USA, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-200, 79-90.
- Burr, K. E., Tinus, R. W., Wallner, S. J., King, R. M., 1990, Comparison of tree cold hardiness tests for conifer seedlings, *Tree physiology*, 6, 351-369.
- Burr, K. E., Hawkins, C. D. B., Hirondele, S. J. L., Binder, W. D., George, F. M., Repo, T., 2001, *Methods for measuring cold hardiness of conifers*. Conifer cold hardiness, In: Bigras, F. J. , Colombo, S. J. (ed), Chapter 14, Kluwer Academic Publishers, 369-401.
- Calamassi, R., Rocca, G. D., Falusi, M., Paoletti, E., Strat., S., 2001, Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. *Ann. For. Sci.*, 58, 663-672.
- Charrier, G., 2011, *Mecanismes et modelisation de l'acclimatation au gel des arbres : application au noyer Juglans regia L.*, Ecole doctorale Sciences de la Vie et de la Santé Agronomie et Environnement, Universite D'auvergne, 217.
- Chavarria, G., Santos, H. P., 2012, *Plant water relations, absorption, transport and control mechanisms*, Advances in selected plant physiology aspects, In: Nontaronto, G., Dichio, B., (ed), Chapter 5, Publisher: InTech., ISBN: 978-953-51-0557-2, 105-132.
- Cochard, H., 2006, Cavitation tress, *Comptes rendus physique*, 7, 1018-1026.
- Coleman, M.D., Hinckley, T.M, McNaughton, G., and Smit, B.A. 1992, Root cold hardiness and native distribution of subalpine conifers. *Can. journal of forest research*, 22, 932-938.
- Colombo, S. J., 1987, Changes in osmotic potential, cell elasticity and turgor relationships of second-year black spruce container seedlings, *Can. journal of forest research*, 17, 365-369.
- Colombo, S., Teng, Y., 1992, Seasonal variation in the tissue water relations of *Picea glauca*, *Oecologia*, 92, 410-415.
- Colombo, S.J., Webb, D.P., and Glerum, C. 1984, Frost hardiness testing: An operational manual for use with extended greenhouse culture. Ontario, Min. of nat. resources, For. res. rep. No. 110. Toronto.
- Cregg, B. M., Zhang, J. W., 2001, Physiology and morphology of *Pinus slyvestris* seedling from diverse sources under cyclic drought stress, *Forest ecology and management*, 154, 131-139.

- Çalikoğlu, M., 2002, *Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold ssp. pallasiana (Lamb.) Holmboe) orijinlerinin kuraklığa karşı reaksiyonlarının ekofizyolojik analizi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 99.
- Çalikoğlu, M., ve Tilki, F., 2004. Lübnan Meşesi (*Quercus libani* Olivier) ve Macar Meşesi (*Q. frainetto* Ten.) fidanlarında kurak dönemdeki transpirasyon analizi. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*. Seri A, 54 (1), 133-142.
- Çalışkan, A., Güney, H. S., Çalışkan, S., 2014, Farklı toprak işleme yöntemlerinin Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) gençleştirilmesi üzerine etkisi, *İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 64 (2), 56-68.
- Çelik, O., Semerci, A., Şanlı, B., Belindir, B., Gedik, Ö., 2002, Ankara çevresinde görülen kurumaların nedenleri, *Oman Mühendisliği Dergisi*, 5.
- Çepel, N., 1993, *Toprak-su- bitki ilişkileri*. İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul. İ.Ü. Yayın No: 3794. Enstitü Yayın No: 5. ISBN: 975-404-320-5.
- Çırak, C., Esendal, E., 2006, Soyada kuraklık stresi, *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 21 (2), 231-237.
- Çolak, A. H., Pitterle, A., 1999, *Yüksek dağ silvikültürü (Cilt 1, Orta Avrupa)*, OGEM-VAK, İstanbul, ISBN:975-93943-0-8.
- Çolak, A.H., 1991. *Karaçam (Pinus nigra Arnold)'da bazı yetiştirme tekniklerinin fidan kalitesi sınıflamasına temel teşkil eden morfolojik etkileri*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çolak, D., 2012, *Sarıçam (Pinus Sylvestris L.), Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arn. Subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe) ve Toros Sedirinde (CedrusLibani A. Rich.) don stresi üzerine bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Daniel, T. W., Helms, J. A., Baker, F. S., 1979, *Principles of silviculture second edition*, McGraw-Hill, Inc., ISBN: 0-07-015297-7.
- Deligöz, A., 2007, *Anadolu Karaçamı [Pinus nigra Arn.subsp.pallasiana (Lamb.) Holmboe] fidanlarına ait bazı temel morfolojik ve eko-fizyolojik özelliklerin dikim başarısına etkisi*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deligöz, A., 2009, The effects of exposure and bale storage on water potential and field performance in Anatolian Black pine, *Journal of biological sciences*, 9 (4), 367-371.
- Deligöz, A., 2011, Seasonal changes in the physiological characteristics of Anatolian black pine and the effect on seedling quality. *Turish journal of agriculture. forestry* 35, 23-30.

- Dirik, H., 1991, *Kızılçam (Pinus brutia Ten.)'da bazı önemli fidan karakteristikleri ile dikim başarısı arasındaki ilişkiler*. Doktora Tezi. İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dirik, H., 1994, Üç yerli çam türünün (*Pinus brutia* Ten, *Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* Lamb. Holmboe, *Pinus pinea* L.) kurak periyottaki transpirasyon tutumlarının ekofizyolojik analizi. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 44, 111-121.
- Dirik, H., 1999, Dikim mevsiminde Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) fidanlarındaki fizyolojik değişimler ve bunun dikim başarısı üzerindeki etkileri. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*. Seri A, 49 (2), 59-70.
- Dirik, H., 2000, Farklı biyoiklim kuşaklarını temsil eden Kızılçam (*pinus brutia* ten.) orijinlerinin kurak dönemdeki su potansiyellerinin basınç-hacim (P-V) eğrisi yöntemi ile analizi. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*. Seri A. 50 (2), 93-103.
- Dirik, H., 2014, Arborikültür (Kentsel ağaç kültürü), İstanbul. İ.Ü. Yayın No: 5200. Orman Fakültesi Yayın No: 509. ISBN: 978-975-404-956-5.
- Doğmuş H. T., Lehtijarvi, A., 2006, Yarıkurak mıntikalarda gerçekleştirilecek ağaçlandırma çalışmalarında mikorizalı fidan kullanımı ve önemi, *Türkiye'de yarıkurak bölgelerde yapılan ağaçlandırma ve erozyon kontrolü uygulamalarının değerlendirilmesi çalıştay*, 7-10 Kasım 2006 Nevşehir, Ankara, AGM, 1, 487-495.
- Dwivedi, A. P., Gupta, G. N., 1993, *Afforestation of arid lands*, Scientific publishers, India, ISBN: 81-7233-067-7.
- Çiçek, N., Çakırlar, H., 2006, Fotosentetik etkinliği ölçme yöntemleri: klorofil flüoresansı, *Anadolu Üniversitesi bilim ve teknoloji dergisi*, 7(2), 295-302.
- Edwards, D. R., Dixon, M. A., 1995, Mechanisms of drought reponse in *Thuja occidentalis* L. Water stress conditioning and osmotic adjustment, *Tree physiology*, 15, 121-127.
- Ehlert, B., Hinch, D. K., 2008, Chlorophyll fluorescence imaging accurately quantifies freezing damage and cold acclimation responses in Arabidopsis leaves, *Plant methods*, 4-12.
- Erinç, S., 1984, *Klimatoloji ve metotları*, İ.Ü Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü yayınları no:2/3278, İstanbul.
- Ertekin, M. Özel, H.B., 2010, Çorum yöresi erozyonla mücadele kapsamında yapılan Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ağaçlandırmaları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (18), 77-85.
- FAO, 1963, *Tree planting practices for arid zones*, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.

- Fernandez, M., Gil, I., Pardos, J. A., 1999, Response of *Pinus pinaster* Ait. provenances at early age to water supply. I. Water relation parameters, *Ann. for. sciennce*, 56, 179-187.
- Genç, M., 1992, *Dogu Ladini (Picea orientalis (L.) Link) fidanlarına ait bazı morfolojik ve fizyolojik özelliklerle dikim başarısı arasındaki ilişkiler*, Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Genç, M., Deligöz, A., Gültekin, H.C., 2005, Dogu Ladini, Toros Sediri, Anadolu Karaçamı, Boylu Ardıç, Kokulu Ardıç ve Diken Ardıç fidanlarının stres etmenlerine dayanma yetenekleri. *Ladin sempozyumu*, 20-22 Ekim 2005, Trabzon, I. Cilt, 474-482.
- Genç, M., Özkan, K., Özçelik, R., Güner, T., Gülsoy S., Deligöz, A., 2012, Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* ssp. *nigra* Arn. var. *caramanica* (Loudon) Rehder] meşcerelerinde uygulanan ilk aralamaların ekofizyolojik etkileri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 5-13.
- Glerum, C., 1985, *Frost hardiness of coniferous seedlings*, Principles and Applications, Proceedings, Evaluating seedling quality, principles, procedures and predictive abilities of major tests. In; Duryea, M. L. (ed.), Oregon State University, ISBN 0-87437-000-0.
- Gonzales, C. A., 2009, *Interactions Between xylem structure and water relations of Southern Pines*, Thesis (PhD), University of Florida School Of Forest Resources and Conservation.
- Gonzales, L., Roger, M. J. R., 2001, *Plant water status*, Handbook of plant eceophysiology techniques, In: Roger, M. J. R. (ed), Chapter 12, Kluwer Academic Publishers, 185-191.
- Gökdemir, Ş., Tosun, S., Palazoğlu, Z., Arslan, M., Çoşgun, S., Türker, H., Tokcan, M., 2012, Türkiye’de Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) orijin denemelerinin yirmibeşinci yıl ara sonuçları. *İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, 293, 1-40.
- Grossnickle, S. C., 1988, Planting stress in newly planted jack pine and white spruce. 2 Changes in tissue water potential components, *Tree physiology*, 4, 85-97.
- Grossnickle, S. C., 1992, Relationship between freezing tolerance and shoot water relations of western red cedar, *Tree physiology*, 11, 229-240.
- Güner, Ş.T., 1999: *Afyon Orman İşletme Müdürlüğündeki Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold. ssp.pallasiana (Lamb.) Holmboe.) meşcerelerinde gerçekleştirilen doğal gençleştirme çalışmaları üzerine bir değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hale, M. G., Orcutt, D. M., 1987, *The physiology of plants under stress*, A wiley-interscience publication, United States of America, ISBN: 0-471-63247-3.

- Hales, S. 1727, *Vegetable staticks*. W. and J. Innys and T. Woodward. London Scientific Book Guild, London. 1961.
- Hawkins, B. J., Guest, H. J., Kolotelo D., 2003, Freezing tolerance of conifer seeds and germinants, *Tree physiology* 23, 1237-1246.
- Hawkins, C.D.B., Eastham, A.M., Story, T.L., Eng, R.Y.N., and Draper, D.A. 1996, The effect of nursery blackout application on sitka spruce seedlings. *Can. j. for. res.*, 26, 2201-2213.
- Hinckley, T.M., F. Duhme, A.R. Hinckley and H. Richter. 1980. Water relations of drought hardy shrubs: osmotic potential and stomatal reactivity. *Plant cell and environment*, 3, 131-140.
- Hirondelle L. S. J., Simpson D. G., Binder, W. D., 2006, Overwinter storability of conifer planting stock, Operational testing of fall frost hardiness. *New forests*, 32, 307-321
- Hopkins, W. G., 1995, *Introduction to plant physiology*, The University Of Western Ontario, John Wiley&Sons, Inc., New York.
- Işık, F., Keskin., S., Sabuncu, R., Şahin, M., Baş. N., Kaya, Z., 2002, Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) farklı populasyonlara ait fidanların kuraklık stresine morfolojik ve fenolojik tepkileri bakımından genetik çeşitlilik. *T.C. Orman Bakanlığı Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Yayını*. Orman Bakanlığı Yayın No: 159. Müdürlük Yayın No: 017. ISSN: 1302-3624.
- Jensen, H. E., Jensen, K. H., Rosbjerg, D., 1991, Plant water relationships and evapotranspiration, Hydrological interactions between atmosphere and vegetation, IAHS publ no:204.
- Kacar, B., Katkat, A. V., Öztürk, Ş., 2002, *Bitki fizyolojisi*, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın no: 198, ISBN: 975-564-133-5.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y., 2005, The effects of drought on plants and tolerance mechanisms (Review), *G.U. Journal of science*, 18 (4), 723-740.
- Kilis, Y., 2007, *Tüplü Toros Sediri (Cedrus libani A. Rich.) ve Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arn. subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe) fidanlarıyla kurulmuş plantasyonlarda kuraklığa dayanıklılık analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocaçalışkan, İ., 2008, *Bitki fizyolojisi kitabı*, 7. Baskı Nobel Yayın Evi Yayın no:1338, Ankara, ISBN: 978-605-395-135-3,
- 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, 21-124.

- Konukçu, M., 2001, *Ormanlar ve ormancılığımız "faydaları. istatistiki gerçekler anayasa kalkınma planları. hükümet programları ve yıllık programlarda ormancılık" (Genişletilmiş İkinci Baskı)*. Devlet Planlama Teşkilatı Yayını, Ankara.
- Kooten, O. V., Snel, J. F. H., 1990, The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology, *Photosynthesis research*, 25, 147-150.
- Kozłowski, T. T., Kramer, P. J., Pallardy, S. G., 1991, *The physiological ecology of woody plants*, Academic Press, San Diego.
- Kozłowski, T. T., Pallardy, S. G., 1996, *Physiology of woody plants*, Second Edition, Academic press. United States of America, ISBN: 0-12-424162-X.
- Kramer, P. J., 1983, *Water relations of plants*, Academic Press Inc. United States of America, ISBN: 0-12-425040-8.
- Kramer, P. K., 1986, The role of physiology in forestry, *Tree physiology*, 2, 1-16.
- Lambers, H., Chapin, F. S., Pons, T. L., 2008, *Plant physiological ecology* second edition, Springer Science Business Media, LLC, ISBN: 978-0-387-78340-6 e-ISBN: 978-0-387-78341-3.
- Landis, T.D., Dumroese, R.K., Haase, D.L., 2010, *The container tree nursery manual*, Volume 7, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington.
- Larcher, W., 2001, *Ökophysiologie der pflanzen*, Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Larcher, W., 2003, *Physiological plant ecology 4th edition*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN: 3-540-43516-6.
- Larsen, J.B. and A. Suner. 1986. Karaçam (*Pinus nigra*) orijinleri arasındaki kuraklığa ve dona dayanma farklılıkları. *Ormancılık Arş. Enst. Yayınları*, 30 (63), 93-109.
- Lebourgeois, F., Lévy, G., Aussenac, G., Clerc, B., Willm, F., 1998, Influence of soil drying on leaf water potential, photosynthesis, stomatal conductance and growth in two black pine varieties, *Ann. for. sci.* 55, 287-299.
- Levitt, J., 1972, *Responses of plants to environmental stress*, Academic press, New York.
- Linden, L., 2002, *Measuring cold hardiness in woody plants*, University of Helsinki Department of Applied Biology Publication, Helsinki.
- Lu, P., Joyce, D. G., Sinclair, W., 2003, Geographic variation in cold hardiness among eastern white pine (*Pinus strobus* L.) provenance in Ontario, *Forest ecology and management*, 178, 329-340.
- Martin, T. A., 2012, Plant water relations techniques, using pressure-volume curves to calculate plant water relations parameters, *University of Florida School Of Forest Resources and Conservation*, class notes.

- Martin, T. A., Brown, K. J., Kucera, J., Meinzer, F. C., Speugel, D. G., Hinckley, T. M., 2001, Control of transpiration in a 200-year-old *Abies amabilis* forest. *Forest ecology and management*, 152, 211-224.
- Maxwell, K., Johnson, G. N., 2000, Chlorophyll fluorescence a practical guide, *Journal of experimental botany*, 345, 659-668.
- Michael, F., Thomashow, M. F., 1999, Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms, *Plant physiol. plant mol. biol.*, 50, 571-599.
- Muller, M., 2010, Lecture notes, University of Illinois, Transport in plants, http://www.uic.edu/classes/bios/bios100/lectures/pl_trans.htm [Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2015].
- Munoz, S., 1983, Ecophysiologie d 'especies de la zone a Chene pubescent sur la face Sud du Mont-Ventoux. INRA, *Station de Syviculture mediterraneenne. Memoire BTS*, Document No 19-84.
- Otieno, D. O., Schmidt, M. W. T., Adiku, S., Tenhunen, J., 2005, Physiological and morphological responses to water stress in two *Acacia* species from contrasting habitats, *Tree physiology*, 25, 361-371.
- Otieno, D. O., Schmidt, M. W. T., Besson, C. K., Vale, R. L., Pereira, J. S., Tenhunen, J. D., 2007, Regulation of transpirational water loss in *Quercus suber* trees in a Mediterranean-type ecosystem, *Tree physiology*, 27, 1179-1187.
- Ögren, E. 2001, Effects of climatic warming on cold hardiness of some northern woody plants assessed from simulation experiments. *Physiology plant*, 112, 71-77.
- Öner, N., Ayan, S., Sıvacıoğlu, A., İmal, B., 2007, Kuraklığın tanımı ve kurak bölgelerin ayırımında kullanılan yöntemler, *Türkiye'de yarıkurak bölgelerde yapılan ağaçlandırma ve erozyon kontrolü uygulamalarının değerlendirilmesi çalıştay*, cilt:1,7-10 Kasım 2006 Nevşehir, Ankara, AGM, 261-270.
- Özel, H. B., Ertekin M., Kırdar, E., 2010, Konya-Karapınar yöresi kurak mntıka ağaçlandırmalarında kullanılan Yalancı Akasya (*Robina pseudoacacia* L.)'nın büyüme durumunun incelenmesi, *Çölleşme ile mücadele sempozyumu*, 17-18 Haziran 2010 Çorum, Ankara, Orman Bakanlığı, 411-418.
- Özen, H. Ç., Onay, A. 2007, *Bitki Fizyolojisi*, Nobel Yayınları, Ankara, ISBN: 978-605-395-017-2.
- Özyuvacı, N., 1999, *Meteoroloji ve klimatoloji*, İÜ Orm. Fak. Yayın No: 460, İstanbul.
- Palva, E. T., T htiharju, S., Tamminen, I., Puhakainen, T., Laitinen, R., Svensson, J., Helenius, E., Heino, P., 2002, Biological mechanisms of low temperature stress response, Cold acclimation and development of freezing tolerance in plants: *JIRCAS working report (2002)*, 9-15.

- Parker, W. C.; Colombo, S. J., 1995, A critical re-examination of pressure-volume analysis of conifer shoots: comparison of three procedures for generating PV curves on shoots of *Pinus resinosa* Ait. seedlings. *Journal of experimental botany* 46 (292), 1701-1709.
- Pina, J. J. P., Morales, F., Pelegrin, E. G., 2008, Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma, *Ann. for. sci.* 65, 813 (1-6).
- Ranney, T. G., Bir, R. E., Skroch, W. A., 1991, Comparative drought resistance among six species of birch (*Betula*): influence of mild water stress on water relations and leaf gas exchange, *Tree physiology* 8, 351-360.
- Richter, H. 1997, Water relations of plants in the field: some comments on the measurement of selected parameters, *Journal of experimental botany*, 48 (306), 1-7.
- Ritchie, G. A., 1984, *Assessing seedling quality*. Forest nursery manual production of bareroot seedlings, In: Duryea, M. L., ve Landis, T. D., (Ed.), Chapter 23, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. The Hague, 243-259.
- Ritchie, G. A., 2006, Chlorophyll fluorescence, what is it and what do the numbers mean, *USDA Forest Service Proceedings*, 34-43.
- Ritchie, G. A., Shula, R. G., 1984, Seasonal changes of tissue-water relations in shoots and root systems of douglas-fir seedlings, *Forest sci.*, 30 (2), 538-548.
- Ritchie, G.A. 1991. *Measuring cold hardiness*. Techniques and approaches in forest tree ecophysiology. In: Lassoie, J. P., Hinkley, T. M., CRC Press, Boca Raton, Fla. 557-582.
- Rizza, F., Pagani, D., Stanca, A. M., Cattivelli, L., 2001, Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats, *Plant breeding*, 120, 389-396.
- Robichaux, R.H., K.E. Holsinger, S.R. Morse, 1986. *Turgor maintenance in Hawaiian Dubautia species*, The role of variation in tissue osmotic and elastic properties, In: Givnish, T. T., (ed.), On the economy of plant form and function. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., 353-380.
- Roger, M. J. R., Weiss, O., 2001, *Fluorescence techniques*, Handbook of plant ecophysiology techniques, In: Roger, M. J. R. (ed), Chapter 10, Kluwer Academic Publishers, 185-191p.
- Royo A, Gil L, Pardos J.A., 2001, Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. seedlings. *New Forest*, 21 (2), 127-140.
- Saatçioğlu, F. 1976, *Silvikültürün biyolojik esasları ve prensipleri*, İ.Ü Orman Fakültesi yayın No: 222, İstanbul.

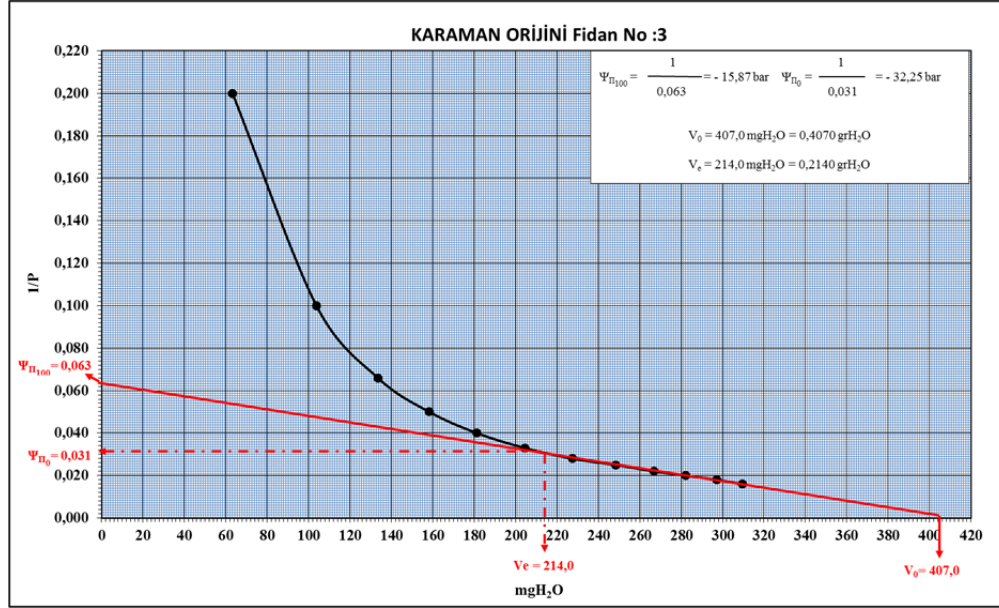
- Savill, P., Evans, J., Auclair, D., Falck, J., 2005, *Plantation silviculture in Europe second edition*, Oxford University press, New York, ISBN: 0-19-854908-3.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., 1965, Sap Pressure in Vascular Plants, *Science*, 148 (3668), 339-346.
- Schulte, P. J., Henry, L. T., 1992, Pressure-volume analysis of tissue relations parameters for individual fascicles of loblolly pine (*Pinus taeda* L.), *Tree physiology*, 10, 381-389.
- Semerci, A., 2002, Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) fidanlarına ait bazı morfolojik ve fizyolojik karakteristikler ile İç Anadolu'daki dikim başarısı arasındaki ilişkiler. *İç Anadolu Ormanlık Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 279, 1-142.
- Semerci, A., 2006, Fidanlarda bitki su stresinin basınç odası cihazı kullanılarak ölçülmesi ve önemi, *Türkiye'de yarı kurak bölgelerde yapılan ağaçlandırma ve erozyon kontrolü uygulamalarının değerlendirilmesi çalışmayı*, I. Cilt, 7-10 Kasım 2006 Nevşehir, Ankara, AGM, 229-239
- Semerci, H., 2005, *Farklı zonlarından örneklenen Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold subspecies pallasiana (Lamb.) Holmboe) orijinlerinin soğuğa dayanıklılıkları*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Semerci, H., Öztürk, H., Semerci, A., İzbirak, H., Ekmekçi, Y., 2008, Değişik ıslah zonlarından örneklenen Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) orijinlerinin dona ve kuraklığa dayanıklılıklarının belirlenmesi. *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülteni*, 21 (340-33), 1-68.
- Simpson, D.G. 1994, Seasonal and geographic origin effects on cold hardiness of White spruce buds, foliage, and stems. *Can. journal forest resarch*, 24, 1066-1070.
- Sinclair T. R., Holbrook, N. M., and Zwieniecki M. A., 2005, Daily transpiration rates of woody species on drying soil, *Tree physiology* 25, 1469-1472.
- Steponkus, P. L., 1984, Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation, *Ann. rev. plant physiol.*, 35, 543-584.
- Stowe D. C., , Lamhamedi, M. S., Margolis, H. A., 2001, Water relations, cuticular transpiration, and bud characteristics of air-slit containerized *Picea glauca* seedlings in response to controlled irrigation regimes, *Can. journal of forestry*, 31, 2200-2212.
- Sutinen, M. L., Palta, J. P., Reich, P. B., 1992, Seasonal differences in freezing stress resistance of needles of *Pinus nigra* and *Pinus resinosa*, evaluation of the electrolyte leakage method, *Tree physiology*, 11, 241-254.

- Şimşek, Y., Erkuloğlu, Ö.S., Tosun, S., 1995, Türkiye’de Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) orijin denemelerinin ilk sonuçları. *İç Anadolu Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, 247, 1-64.
- Taiz, L., Zeiher, E., 2008. *Bitki fizyolojisi (Plant physiology)*, Üçüncü baskıdan Türkçeye çeviri Türkan, İ., (ed), Palme yayıncılık Ankara. ISBN: 978-9944-341-61-5.
- Tanaka, Y., Brotherton, P., Hostetter, S., Chapman, D., Dyce, S., Belanger, J., Johnson, B., and Duke, S. 1997, The operational planting stock quality testing program at Weyerhaeuser. *New forest*, 13, 423-437.
- Temel, F., S. Gülcü, Z. Ölmez, A. Göktürk 2011, Germination of Anatolian black pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) seeds from the Lakes Region of Turkey, *Geographic variation and effect of storage, not bot hort agrobot cluj*, 39 (1), 267-274.
- Tinus, W. R., 1996, Cold hardiness testing to time lifting and packing of container stock: a case history, *Tree plant notes USDA Forest Service*, 47 (2), 61-67.
- Turner, N.C., 1988, Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrigation science*, 9, 289-308.
- Türkeş, M., 1990, *Türkiye’de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar*, Doktora Tezi, İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü.
- Tyree, M.T., and H.T. Hammel. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *Journal of experimental botany* 23, 267-282.
- Uluocak, N. 1974. Kuraklık ve kurak bölgelerin özellikleri. *İ.Ü Orman Fak. Dergisi*, Seri B, 23 (24), 135-156.
- Uslu, S., 1959, İç Anadolu steplerinin antropojen karakteri üzerine araştırmalar, *İ.Ü Orman Fakültesi Umum Müdürlüğü Yayınları*, 302 (15). 138-178.
- Ürgenç, S., 1986, *Ağaçlandırma tekniği*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Rektörlük No:3314, Fakülte No:375, İstanbul.
- Ürgenç, S., 1998, *Ağaçlandırma tekniği yenilenmiş ve genişletilmiş ikinci baskı*. İ.Ü. Orman Fak. Yayınları, İstanbul, ISBN. 975-404-446-5,
- Ürgenç, S., Çepel, N., 2001, *Ağaçlandırmalar için tür seçimi, tohum ekimi ve fidan dikiminin pratik esasları*, Tema Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Velioğlu, E., Çengel, B., Kaya, Z., 1999, Kaz Dağları’ndaki Doğal karaçam (*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb) populusyonlarında genetik çeşitliliğin yapılanması. *Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü teknik bülten*, 1, 1-27.

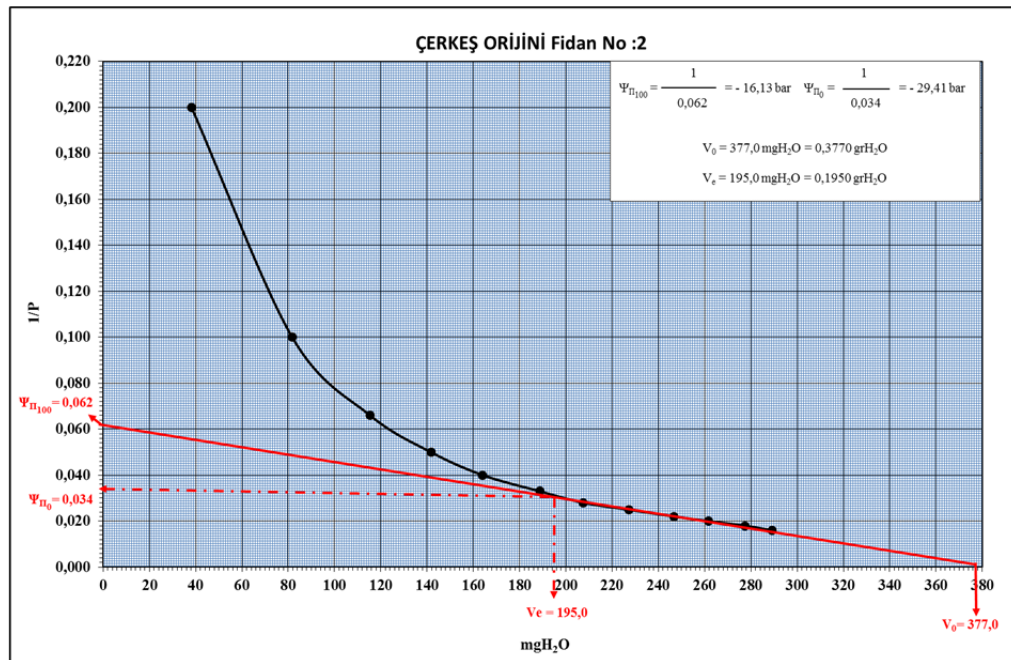
- Walter, H. 1974, Die Vegetation der Erde. Gustav FisherVerlag, Jena.
- Walter, T., 2015, Lecture notes, Soils Chapter 5, Water in the Soil-Plant System, http://www.geography.hunter.cuny.edu/~tbw/soils.veg/lecture.outlines/soils.chap.5/soils_chapter.5.htm [Ziyaret Tarihi: 10 Şubat 2015].
- Wool, N. S., Badger, M. R., Pogson, B. J., 2008, A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence, *Plant methods* 4 (27).
- Wullschleger, S. D., Childs, K. W., King, A. W., Hanson, P. J., 2011, A model of heat transfer in sapwood and implications for sap flux density measurements using thermal dissipation probes. *Tree physiology*, 31 (6), 669-679.
- Yağmur, M. U., 2009, *Farklı Fıstık çamı (Pinus pinea l.) orijinlerinin kuraklığa dayanıklılığı üzerine araştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yahyaoğlu, Z., ve Genç, M., 2007, *Fidan standardizasyonu*, SDÜ Üniversitesi Orman Fak yayınları, Isparta.
- Yahyaoğlu, Z., 1987, Orman ağacı fidanlarının kalite özellikleri. scholender teknigi yardımı ile su potansiyelinin ölçülmesi ve önemi, *K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 10, 1-2, 140-151.
- Zhang, Y., Zgeng, Q., 2012, Determination of volumetric elastic moduli of plant leaf cells based on pressure-volume curves, *Theoretical & Applied mechanics letters*, 2.
- Zoralioğlu, T., 1990, Eskişehir yöresi kurak ve yan kurak alanların ağaçlandırılmasında uygulanabilecek makineli arazi hazırlığı yöntemlerinin belirlenmesi üzerine araştırmalar. *Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Teknik Bülteni*, 149.

EKLER

EK 1. Karaman orijini 3 numaralı fidan örneğine ait basınç-hacim (P-V) eğrisi



EK 2. Çerkeş orijini 2 numaralı fidan örneğine ait basınç-hacim (P-V) eğrisi



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Bora İMAL
Uyruğu	T.C
Doğum tarihi, Yeri	20.03.1980, Kırıkkale
Telefon	0212 3382400 /25254
E-mail	bimal@istanbul.edu.tr - boraimal@hotmail.com
Web adres	http://aves.istanbul.edu.tr/bimal/

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Doktora	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü / Orman Mühendisliği / Silvikültür	2015
Yüksek Lisans	Ank. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü / Orman Mühendisliği / Silvikültür	2007
Lisans	Ankara Üniv. Orman Fakültesi / Orman Mühendisliği	2003
Lise	Kırıkkale Mehmet Akif Ersoy Lisesi	1997

Makaleler / Bildiriler

<p>Öner, N., Ayan, S., Sivacıoğlu, A., İmal, B., 2007, Kent Ormancılığı ve Kent Ormanlarının Çevresel Etkileri. <i>Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi</i>, 7 (2), 190-203.</p> <p>Öner, N., İmal, B., 2006. Bülbülpınarı (Eldivan-Çankırı) Yöresi Meşcere Kuruluşları Üzerine Araştırmalar. <i>Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi</i>, 2, 67-79.</p> <p>İmal, B., Birben, Ü., Öner, N., Özden, S., 2006, Sosyal Riski Azaltma Projesi (Srap) Kapsamındaki Ağaçlandırma Çalışmalarının Sosyo-Ekonomik Yararları. <i>Kırsal Çevre Yılığ</i>, ISSN 1303-9334, 32-41.</p>
--

- Alptekin, C.Ü., İmal, B., 2010, Kurak ve Yarıkurak Alanlarda Fidan Üretimine Genel Bir Bakış. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20–22 Mayıs 2010, Bildiriler Kitabı, Cilt II, s 792-803, Artvin.
- İmal, B., Öner, N., 2008, Yarıkurak Bir Alan Özelliği Gösteren Çankırı İlinde Uygulanabilecek Ağaçlandırma Teknikleri. *IV.Çankırı Kültürü Bilgi Şöleni*, 100.Yıla Doğru Çankırı, 13-15 Kasım 2008, 231-245, Çankırı. (Sözlü Bildiri).
- İmal, B., Yılmaz, S., Sağlıcak, Y., Kondur, Y., Şimşek, Z., Öner, N., 2007, Çankırı (Tümçam)'da Yarıkurak Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *Türkiyede Yarıkurak Bölgelerde Yapılan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Uygulamalarının Değerlendirilmesi Çalıştayı*, Bildiriler Kitabı, 1, 66-71, 7-10 Kasım 2006, Nevşehir (Sözlü Bildiri).