

Bakanlık Yayın No: 340
Müdürlük Yayın No: 33

**DEĞİŞİK ISLAH ZONLARINDAN ÖRNEKLENEN ANADOLU
KARAÇAMI (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *nigra* var. *caramanica*
(Loudon) Rehder) ORİJİNLERİNİN DONA VE KURAKLIĞA
DAYANIKLILIKLARININ BELİRLENMESİ**

(ODC: 181.221)

Cold and Drought Tolerance of Anatolian Black pine (*Pinus nigra* Arnold.
ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) Origins Sampled from
Different Breeding Zones

Hacer SEMERCİ Dr. Hikmet ÖZTÜRK Dr. Akkın SEMERCİ
Doç. Dr. Afife İZBIRAK Doç. Dr. Yasemin EKMEKÇİ

TEKNİK BÜLTEN NO: 21

T.C.
ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI
ORMAN AĞAÇLARI VE TOHURLARI ISLAH ARAŞTIRMA
MÜDÜRLÜĞÜ

FOREST TREE SEEDS AND TREE BREEDING RESEARCH
DIRECTORATE

ANKARA-TÜRKİYE

ISBN: 978-605-393-017-4

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile karaçamın doğal yayılış alanı içinde, Ağaçlandırma Genel Müdürlüğü tarafından ağaçlandırmalarda en çok kullanılan onbir Karaçam orijinine ait tohum ve fidanlar kullanılarak, bu orijinlerin dona ve kuraklığa dayanıklılık farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Son yıllarda Ağaçlandırma Genel Müdürlüğü tarafından Karaçam ile yapılan ağaçlandırmaların büyük bir bölümü, kuraklık ve don olaylarının görüldüğü bölgelere kaymıştır. Buna bağlı olarak bu bölgelerde yapılacak ağaçlandırmaların başarısının artmasında, dona ve kurağa dayanıklılık gösteren orijinlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu araştırma projesinde fidanların yetiştirilmesi aşamasında emeği geçen Kızılcahamam Fidanlık mühendisi Ümmiye AYDIN başta olmak üzere tüm fidanlık çalışanlarına teşekkür ederiz. Çalışmada yardımlarını gördüğümüz Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı öğretim üyeleri Doç. Dr. Hüsnü ÇAKIRLAR'a, Dr. Nuran ÇİÇEK'e ve İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Hüseyin DİRİK'e teşekkür ederiz.

Çalışma sonuçlarının, don ve kuraklık gibi ekstrem koşulların hakim olduğu alanlarda ağaçlandırma yapmak için yoğun çaba harcayan uygulamacılara yardımcı olmasını dileriz.

Ankara, 2008

Hacer SEMERCİ
Dr. Hikmet ÖZTÜRK
Dr. Akkın SEMERCİ
Doç. Dr. Afife İZBIRAK
Doç. Dr. Yasemin EKMEKÇİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Stres.....	3
2.1.1. Düşük sıcaklık stresi.....	3
2.1.2. Kuraklık stresi.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3.1. Materyal.....	7
3.2. Yöntem.....	9
3.2.1. Dona dayanıklılığın belirlenmesinde kullanılan yöntemler	9
3.2.1.1. Kışın yapılan dona dayanıklılık testinde kullanılan yöntemler.....	9
3.2.1.2. İlkbaharda yapılan dona dayanıklılık testinde kullanılan yöntemler	9
3.2.1.3. Oluşan zararın ölçülmesinde kullanılan yöntemler.....	10
3.2.2. Su stresinin orijinlere etkisini araştırmada kullanılan yöntemler.....	11
3.2.2.1. Su stresinin tohumların çimlenmesine etkisini belirlemede kullanılan yöntemler.....	11
3.2.2.2. Su stresinin fidanların yaşama ve gelişmelerine etkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler	12
4. BULGULAR.....	14
4.1. Dona Dayanıklılık Bulguları.....	14
4.1.1. Kışın yapılan dona dayanıklılık testi bulguları.....	14
4.1.2. İlkbaharda yapılan dona dayanıklılık testi bulguları.....	21
4.2. Su Stresi Uygulaması İle Elde Edilen Bulgular	25
4.2.1. Su stresinin tohumların çimlenmesine etkisi.....	25
4.2.2. Su stresinin fidanların yaşama ve gelişmesine etkisi	26
5. TARTIŞMA	36
5.1. Don Testlerinde Kullanılan Sıcaklık ve Orijinlerde Oluşan Zarar İlişkisi.....	36
5.1.1. Kışın yapılan don testlerinde sıcaklık ve orijinlerde oluşan	36

zarar ilişkisi.....	
5.1.2. İlkbaharda yapılan don testlerinde sıcaklık ve orijinlerde oluşan zarar ilişkisi.....	40
5.2. Orijinlerin Su Stresine Dayanıklılıkları	41
5.2.1. Orijinlerde su stresi çimlenme ilişkisi	41
5.2.2. Uygulanan su stresinde orijinlerin yaşaması ve büyümesi arasındaki ilişki.....	43
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	45
ÖZET.....	47
SUMMARY.....	48
KAYNAKÇA.....	49

ÖZ

Bu çalışmada Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder)'na ait Kızılcahamam-Kızılcahamam, Tavşanlı-Balıköy, Afyon-Ahırdağı, Andırın-Akifiye, Mustafa Kemal Paşa-Burhandağı, Yılanlı-Yılanlı, Balıkesir-Korucu, Denizli-Kocabaş, Gölhisar-Gölhisar, Mengen-Daren ve Göksun-B. çamurlu orijinlerinin dona ve kurağa dayanıklılığı karşılaştırılmıştır.

Dona dayanıklılık çalışmalarında 1+0 Anadolu karaçamı fidanları kışın ve ilkbaharda dona dayanıklılık testlerine tabi tutulmuşlardır. Fidanlar kışın -20, -25, -30 ve -40 °C ve ilkbaharda +3, -3, -7 ve -14 °C'lerdeki düşük sıcaklıklarda tutulmuşlardır. Bu işlem sonrasında don zararı, hücre membranlarında oluşan zarar miktarı ve fidanlarda klorofil floresans ölçümleri ile belirlenmiştir. Orijinleri çimlenme aşamasında kurağa dayanıklılık bakımından karşılaştırmak için, tohumlar PEG 6000 çözeltisi kullanılarak 2, 4 ve 6 bar seviyesinde su stresine tabi tutulmuştur. Fidan aşamasındaki kuraklık deneyinde, fidanlara 4 ay süresince su stresi uygulanması ile fidanların şafak öncesi bitki su potansiyelleri sırasıyla -5 az (kontrol), -10 (orta) ve -20 (şiddetli) bar civarında tutulmuştur. Fidanlara su stresi uygulanırken fotosentetik aktiviteleri (F_v/F_m), stres uygulamasının sonunda da stres gruplarının yaşama yüzdeleri belirlenmiş ve morfolojik özellikleri ölçülmüştür.

Orijinler, kış donlarına karşı anlamlı farklılıklar gösterirken, ilkbaharda farklılık göstermemişlerdir. İyon sızıntısı ve klorofil floresans yöntemleri Andırın, Göksun ve Mengen orijinlerinin kışın dona daha dayanıklı olduğunu ve Balıkesir ile Mustafa Kemal Paşa orijinlerinin ise dayanıksız olduğunu göstermiştir. Kışın dona dayanıklılık bakımından orijinler arasında varyasyonlar olduğu ortaya konmuştur. Kurağa dayanıklılık denemelerinin sonuçları ise Mustafa Kemal Paşa, Tavşanlı, Yılanlı ve Afyon orijinlerinin, denemelerde kullanılan diğer orijinlere kıyasla kurağa daha dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold.), Black pine, kurağa dayanıklılık, dona dayanıklılık, klorofil floresans, iyon sızıntısı.

ABSTRACT

Kızılcahamam-Kızılcahamam, Tavşanlı-Balıköy, Afyon-Ahırdağı, Andırın-Akifiye, Mustafa Kemal Paşa-Burhandağı, Yılanlı-Yılanlı, Balıkesir-Korucu, Denizli-Kocabaş, Gölhisar-Gölhisar, Mengen-Daren and Göksun-B. çamurlu provenances of Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) were compared to freezing and drought tolerance tests.

To assess cold hardiness of provenances, 1+0 years old seedlings were exposed to -20, -25, -30 and -40 °C freezing temperatures in winter and +3, -3, -7 and -14 °C low temperatures in spring. After treatments at membranes of cells and chlorophyll a fluorescence measurements on seedlings were done. To determine provenance differentiation in drought hardiness at the germination stage, seeds were subjected 2, 4 and 6 bar water stress by using polyethylene glycol 6000 solutions. As a result of applied water stress to seedlings, predawn water potential of seedlings were maintained around -5 (control), -10 (medium) and -20 bar (severe water potential) during artificial drought experiment, survival rate observed and some morphological characters measured.

Provenance variation in cold hardiness was evident in winter but not in spring. Electrolyte leakage and chlorophyll a fluorescence measurements indicated that Andırın, Göksun and Mengen provenances were found resistant while Balıkesir and Mustafa Kemal Paşa samples were found sensitive to freezing in winter. Results of drought resistance experiments revealed that Mustafa Kemal Paşa, Tavşanlı, Yılanlı and Afyon origins were more drought resistant than other origins used in this study.

Key Words: *Pinus nigra* Arnold. ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder), drought tolerance, cold tolerance, chlorophyll fluorescence, electrolyte leakage

ÇİZELGELER ve ŞEKİLLER DİZİNİ

Çizelgeler

Çizelge 3.1.	Orijinlerin fizyografik bilgileri ve orijine en yakın meteorolojik iklim verileri.....	8
Çizelge 4.1.	Sıcaklık ile fotosentetik parametreler, MDA ve I_t arasındaki korelasyon katsayıları	14
Çizelge 4.2.	Kışın uygulanan donma sıcaklıklarında 11 orijine ait fidanların yaralanma indekslerine (I_t) ait varyans analizi.....	15
Çizelge 4.3.	Farklı donma sıcaklık kademelerinde 11 farklı Anadolu karaçamı orijininin hücre membranındaki yaralanma I_t (%) indeksleri.....	16
Çizelge 4.4.	Orijinlerin sıcaklık kademelerindeki ortalama yaralanma indeksleri ile bu orijinlere ait bazı iklim verileri arasındaki ilişkiyi gösteren Pearson korelasyon matrisi.....	17
Çizelge 4.5.	Kışın uygulanan donma sıcaklıklarında, sıcaklık ve orijin faktörlerinin fidanların fotosentetik verimliliklerine (F_v/F_m) etkisini gösteren varyans analizi.....	18
Çizelge 4.6.	Farklı donma sıcaklığı kademelerinde 11 farklı Anadolu karaçamı orijininin (F_v/F_m) oranları.....	19
Çizelge 4.7.	11 Orijine ait fidanların ortalama I_t ve F_v/F_m parametreleri kullanılarak belirlenen dona dayanıklılık düzeyleri.....	20
Çizelge 4.8.	İlkbaharda uygulanan test sıcaklığı, fotosentetik verimlilik, MDA ve I_t arasındaki ilişkilerin önem derecesini gösteren Pearson korelasyon analizi sonuçları.....	21
Çizelge 4.9.	İlkbaharda uygulanan donma sıcaklıklarında, 11 orijine ait fidanların yaralanma indekslerine (I_t) ait varyans analizi tablosu.....	22
Çizelge 4.10.	İlkbaharda uygulanan donma sıcaklıkları sonucunda orijinlerin I_t (%) değerleri ve Duncan testine göre sıcaklık kademelerinin gruplanması.....	22
Çizelge 4.11.	İlkbaharda uygulanan donma sıcaklıkları sonucunda 11 orijine ait fidanların fotosentetik verimliliklerine (F_v/F_m) ait varyans analizi sonuçları.....	24

Çizelge 4.12.	İlkbaharda farklı sıcaklık kademelerinde 11 farklı Anadolu karaçamı orijininin F_v/F_m değerleri	24
Çizelge 4.13.	Tohumların farklı su stresi koşullarındaki çimlenme yüzdeleri.....	25
Çizelge 4.14.	Su stresi koşullarında tohumların kümülatif oransal çimlenme yüzdeleri.....	26
Çizelge 4.15.	Oransal çimlenme yüzdelerine ait varyans analizi.....	26
Çizelge 4.16.	Farklı su stresi koşullarındaki fidanların oransal yaşama yüzdeleri.....	27
Çizelge 4.17.	Su stresi ve orijinlerin oransal yaşama yüzdesine etkisini araştıran varyans analizi sonuçları.....	28
Çizelge 4.18.	Su stresi ve orijinlerin boy artım yüzdesine etkisine ait varyans analizi sonuçları.....	28
Çizelge 4.19.	Farklı su stresi koşullarındaki fidanların boy artımı yüzdeleri ve Duncan testi sonuçları.....	30
Çizelge 4.20.	Kontrol grubunda (5 bar su stresi) ölçülen morfolojik özellikler ve F_v/F_m değerleri ile varyans analizi sonuçları.....	32
Çizelge 4.21.	Orta şiddette su stresi (10 bar su stresi) uygulanan grupta ölçülen morfolojik özellikler, F_v/F_m ve varyans analizi sonuçları.....	33
Çizelge 4.22.	Şiddetli su stresi (20 bar su stresi) uygulanan grupta ölçülen morfolojik özellikler, F_v/F_m ve varyans analizi sonuçları.....	34
Çizelge 4.23.	Kontrol grubunda (üstteki koyu renkli korelasyon matrisi) ve şiddetli su stresi (20 bar) uygulanan grupta (alttaki açık renkli korelasyon matrisi) ölçülen morfolojik özellikler ve fotosentetik verimlilik arasındaki korelasyon katsayıları.....	35
<u>Sekiller</u>		
Şekil 3.1.	Kullanılan orijinlerin konumları	7
Şekil 3. 2.	Az, orta ve şiddetli su stresine maruz bırakılan fidanların su stresi düzeylerinin deney süresince gösterdiği genel seyir.....	13
Şekil 4. 1.	Kışın ve ilkbaharda dona maruz kalan fidanların uygulamadan iki hafta sonra seradaki durumları.....	23
Şekil 4. 2.	Az (Kontrol), orta ve şiddetli su stresi uygulanan fidanların deneme sonundaki görünümü.....	29

1.GİRİŞ

Pinaceae familyasına ait olan *Pinus* (çam) cinsi dünyada 111 tür ile temsil edilmekte ve kuzey yarımkürede çok geniş bir yayılış göstermektedir (STEVENS ve ENQUIST 1998). Çamlar için karakteristik olan uzun lif yapısı, kâğıt ve kâğıt ürünlerinde en fazla kullanılan cins olmasının nedenidir. Çamlar haricindeki diğer ibreliler (koniferler) ise, çamlar kadar iyi bir adaptasyona ve yüksek büyüme hızına sahip değildir (RICHARDSON ve RUNDEL 1998). Bu nedenlerden dolayı, çamların gelecekte de en önemli ağaç cinsi olacağı şüphesizdir. Koniferler, özellikle de çamlar, hala yeryüzünde kâğıt hamurunun en büyük kaynağı durumundadırlar. Tek başına kâğıda olan ihtiyaç bile, gelecekte de çamların önemini koruyacağını göstermektedir. Hidrolojik etkileri, yangınlardaki rolleri, hayvanlara besin ve yaşam ortamı sağlamaları gibi nedenlerle çamlar, ekosistem üzerinde önemli biyokimyasal etkilere sahiptirler (RICHARDSON ve RUNDEL 1998). Çamların iklim üzerine bölgesel veya küresel ölçekte etkileri vardır. Örneğin, kuzey yarıküredeki ormanlar, altlarındaki kar örtüsünün güneşten gelen ışığı yansıtmasını engellemektedirler. Bu engelleme ile ormanlık alanlarda ağaçsız bir ortama kıyasla, daha sıcak kış mevsimlerinin yaşanması sağlanmaktadır (BONAN ve ark. 1992). Çamlar, ekolojik ve ekonomik olarak Dünya'nın en önemli ağaç cinsidir ve bu nedenle Dünya'nın birçok bölgesinde, doğal yayılış alanları içerisinde ve doğal yayılışlarının oldukça dışındaki alanlarda kültüre alınmışlardır (RICHARDSON ve RUNDEL 1998).

Anadolu karaçamı, ülkemizde Kızılçam'dan (5.4 milyon ha) sonra en geniş yayılış alanına sahip ağaç türüdür (4.2 milyon ha) (ANONİM 2006). Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri dışında tüm bölgelerimizde yayılış göstermektedir. Genelde İç Anadolu'yu çevreleyen dağların içe bakan yüzlerinde yer alması, onun İç Anadolu ikliminin karakteristiklerinden olan "yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı" hava koşullarına maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de doğal meşcereleri de zaman zaman don ve kuraklığa maruz kalabilmektedir. Doğal gençleştirme çalışmalarında tohumların çimlenme veya fidan gelişim evrelerinde don veya kuraklık nedeniyle kayıplar görülebilmektedir.

Anadolu karaçamı ağaçlandırma alanı büyüklüğü bakımından da ikinci sırayı almaktadır. Türün 2000 yılı sonuna kadar 465 bin hektara yakın ağaçlandırması yapılmıştır (KONUĞÇU 2001). Geniş alanlarda ve farklı coğrafi bölgelerde yapılan ağaçlandırmalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle ağaçlandırma yapılan bölgede hakim iklim tipine göre don yada kuraklıktan zaman zaman etkilenmektedir. Kurak ve kurak-soğuk alanların ağaçlandırmalarında, başarı düzeyini arttırmak için uyulması gereken teknik

esaların içerisinde kuraklığa ve dona dayanıklı ağaç türü ve orijinlerinin seçimi ön planda gelmektedir. İklim değişikliğinin uzun vadede Akdeniz çevresinde kuraklaşma ile sonuçlanacağı tahmin edilmektedir (RAMBAL ve HOFF 1998). İklim değişikliğinin bir diğer anlamının da seller, yüksek ve düşük sıcaklıklar gibi ekstrem hava olaylarının şiddet ve sıklığının artması olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle don, kuraklık, tuzluluk gibi streslere dayanıklı tür ve orijin seçimi ve ağaçlandırmalarda kullanımı, gelecekte bugünkünden daha da önemli hale gelecektir.

Türkiye’de Karaçam ağaçlandırmaları, özellikle kurak ve don etkilerinin ayrı ayrı veya bir arada görüldüğü İç Anadolu Bölgesi gibi ekosistemlerde, diğer türlere göre daha fazla yapılmaktadır. Bu nedenle bu ağaçlandırmalarda orijin seçimi çok önemli bir unsur olmaktadır. Karaçam’ın doğal yayılış alanlarından örneklenen orijinlerin, don ve kuraklığın olduğu ekosistemlerde kullanılmak üzere dona ve kuraklığa karşı dayanıklılık düzeylerinin karşılaştırılması, uygulayıcılara yarar sağlayacaktır.

Bu araştırmada, farklı ıslah zonlarından örneklenen Anadolu karaçamı orijinlerinin dona ve kuraklığa dayanıklılık düzeyleri karşılaştırılmıştır. Böylece Anadolu karaçamı kullanılarak yapılacak ağaçlandırmalarda eğer lokal tohum kaynakları yoksa ve tohum transfer rejyonlaması sınırları dışında bir alanda ağaçlandırma yapılması gerekiyorsa bu durumda kullanılacak tohum kaynağının seçimine yardımcı olabilmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Stres

Bitkilerin büyüme, gelişim ve verimliliklerini olumsuz yönde etkileyen çevre faktörlerine genel olarak stres denilmektedir. Kaynağına göre stresler genelde biyotik (böcek, mantar gibi zararlı ve hastalıklar vb.) ve abiyotik (don, kuraklık, tuzluluk vb.) stresler olarak iki kısımda incelenmektedir. Optimum koşullarda çeşitli bitkilerden elde edilebilecek ürün miktarında biyotik ve abiyotik etmenlerin etkisiyle ortalama ürün kaybı %65 ile %87 arasında değişirken, abiyotik etmenlerin neden olduğu ortalama ürün kaybı %51 ile %82 arasında değişmektedir (KACAR ve ark. 2002). Yeryüzünün yaklaşık %28'lik kısmında kuraklık, %24'ünde sıg topraklar, %23'ünde bitki besin maddesi eksikliği veya fazlalığı ve %16'sında don, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (KRAMER ve BOYER 1995).

2.1.1. Düşük sıcaklık stresi

Düşük sıcaklık stresi, genelde soğuk ve don olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Ancak zaman zaman bu ayırım yapılmadan tek başına don stresi denildiği de olmaktadır. Soğuk stresi 0–15 °C veya 20 °C arasında değişen sıcaklıklarda görülür (HOPKINS 1995; TAIZ ve ZAIGER 1998; KACAR ve ark. 2002). Sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesi sonucu oluşan zarara ise don zararı denilmektedir (KACAR ve ark. 2002). Dona dayanıklılık, bitkinin 0 °C'nin altındaki düşük sıcaklıklarda zarar görmeksizin canlı kalabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (GLERUM 1985).

Dona dayanıklılık düzeyinin ölçülmesi için yapılan test, kontrollü bir ortama yerleştirilen bitki veya bitki parçasının önce belirli bir hızla soğutulması; ulaşılan bu düşük sıcaklıkta bir süre bekletilmesi; sonra başlangıçtaki sıcaklığa kadar ısıtılması ve bu uygulamalar sonrasında oluşan hasar miktarının bazı metotlarla belirlenmesi aşamalarından oluşur (RITCHIE 1984; BURR ve ark. 2001).

Doğada oluşan bir don olayı sonrasında, bitkilerde oluşan zararın derecesine bağlı olarak morfolojik gözlemlere dayalı oluşturulmuş bir skalaya göre dona dayanıklılığın belirlenmesi yoluna gidilebilir. Bu tip bir çalışmanın avantajı, dayanıklılığın arazi koşulları altında gözlenmiş olmasıdır. Ancak arazi koşullarında oluşan zararın dondan mı yoksa başka çevresel etkilerden mi kaynaklandığını anlamak zordur (KEATES 1990). Arazi koşulları kontrol edilemez, ayrıca arazideki gözlemler ve örneklemeler pahalıdır (SIMPSON 1983). Bu nedenlerden dolayı dona dayanıklılık

testlerinin genelde kontrollü ortamlar olan iklim dolaplarında yapılması tercih edilmektedir.

Dona dayanıklılık testlerinde zararın ölçülmesi için genellikle koniferlerin yaprakları, herdem yeşil türlerin ise tomurcukları kullanılmaktadır (BANNISTER ve NEUER 2001). Bitki eğer iklim dolabına sığıyor ise bütün olarak, sığmıyor ise bitkiden bir parça alınarak dondurulmaktadır. Dona dayanıklılık testinde örnekler ya önceden kararlaştırılan tek bir sıcaklık kademesinde örneğin -30 °C'de ya da birden çok kademedeki oluşan örneğin -10, -20, -30, -40 °C gibi bir dizi düşük sıcaklıkta dondurulur (RITCHIE 1984; BURR 1990; KEATES 1990). Test için dondurulacak bitkilerin dondurulma hızı ve düşük sıcaklıkta bekletilme süreleri de önemlidir. Dondurma kabinlerine yerleştirilen bitkilerin soğutulması için saatte 5 ile 20 °C arasında bir sıcaklık azalışı kullanılabilirliği belirtilmiştir (SIMPSON 1983; KRASOWSKI ve ark. 1993). Ancak genel olarak, çalışmalarda saatte 2 ile 6 °C'lik bir sıcaklık azalışı ve artışı kullanılmıştır (BURR ve ark. 1990; BURR ve ark. 2001; LINDEN 2002). Dondurma kabinlerine yerleştirilen bitki örnekleri belirli bir hızla hedeflenen düşük sıcaklığa kadar soğutulurlar. Hedeflenen bu sıcaklıkta bekletme süresi de önemlidir. GLERUM (1985), 24 saatten fazla hedef sıcaklıkta bekletilmemesini önermiştir. LARCHER (1995) ise, düşük sıcaklıkta bekletme süresinin 4–6 saatten az olmamasını tavsiye etmektedir.

Dona dayanıklılık testi sonrasında oluşan zararın belirlenmesinde tarihsel olarak önce görsel yöntem kullanılmıştır. Ancak görsel yöntemin subjektifliğinden dolayı zaman içinde sayısal yöntemler bulunmaya çalışılmıştır. Bugün dondan zarar gören hücrelerin membranlarındaki zararın derecesini ölçmeye yarayan iyon sızıntısı, fotosistemlerde özellikle Fotosistem II (PS II)'de oluşan zararı ölçmeye yarayan klorofil a floresans yöntemleri en sık kullanılan yöntemlerdir.

Odunsu bitkilerde dona dayanıklılık bitkinin türüne, genotipine, yaşına bağlı olduğu gibi, aynı bitkinin dona dayanıklılık düzeyi mevsimsel bir değişimde göstermektedir (KOZLOWSKI ve ark. 1991; BRAY ve ark. 2000). Genel olarak çok yıllık bitkiler tek veya iki yıllık bitkilerden, geniş alanda yayılış gösteren türler, dar alanda yayılış gösteren türlerden daha yüksek genetik çeşitliliğe sahiptirler. Bu çeşitlilik de dona dayanıklılık bakımından bir çeşitliliğin olmasına yardımcı olur (ZOBEL ve TALBERT 1984). Anadolu karaçamı da geniş yayılış alanı içinde iklim bakımından çok geniş varyasyona sahiptir. Bir taraftan Uludağ etekleri gibi rutubetli iklim mntıklarında, diğer taraftan Ankara gibi kurak kontinental alanlarda yayılış göstermektedir (SAATÇIOĞLU 1976). Anadolu karaçamı, stebe en çok sokulan ağaç türümüz olarak bilinmektedir (ÜRGENÇ 1986). Yine Türkiye

Milli Ağaç Islahı ve Tohum Üretim Programı'nda (1994) esnek bir tür olarak kendisinden bahsedilmekte ve kontinental orijinlerin İç Anadolu'da bulunduğu belirtilmektedir. Özetle, Anadolu karaçamı'nın yayılış alanında ve yayılış alanı dışında yapılan ağaçlandırma alanlarında zaman zaman don ve kurak zararı ile karşılaşılabilir. Bu tür alanlarda dayanıklı orijinlerin bulunup kullanılması ağaçlandırmaların başarısını arttıracaktır.

2.1.2. Kuraklık stresi

Dünya üzerinde kullanılabilir alanların %28'lik kısmında kuraklık etkilidir (KRAMER ve BOYER 1995). Kuraklık yağış, sıcaklık, nem, evaporasyon, transpirasyon gibi belli başlı değişkenlere bağlı olarak gelişen bir olaydır. Genel olarak kuraklık yeryüzündeki çeşitli sistemlerce kullanılan doğal su varlığının, belli bir zaman sürecinde ve bölgesel ölçekte ortalamasının altında gerçekleşmesi sonucu ortaya çıkan su açığıdır şeklinde tanımlanmaktadır (TÜRKEŞ 1990). Kuraklığın literatürde tanımlanan birçok çeşidi olmakla birlikte dört belirgin kuraklık tipi bulunmaktadır. Bunlar meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık, hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklıktır. Bunlardan tarımsal kuraklık tanımı, bitki ile uğraşan tarım ve ormancıları daha çok ilgilendirmektedir. Toprakta bitkinin ihtiyacını karşılayacak miktarda su bulunmaması olarak tanımlanan tarımsal kuraklık, fazla nem kaybı ve su kaynaklarında kıtlık olduğu zaman meydana gelir.

Bitkilerde kuraklık stresinin mekanik, metabolik ve oksidatif etkileri vardır. Mekanik etki: bitki hücrelerinden belirgin su yitimi gerçekleştiği zaman bitkide turgor kaybıyla kendini gösteren birincil streştir (LEVITT 1980). Turgorun kaybolması hücrenin genişlememesine ve dolayısıyla bölünememesine neden olur. Bu durum ise bitkide büyüme ve çeşitli nedenlerle oluşan zararın tamir edilememesi anlamına gelir. Hücre içeriğinin büyük bir kısmını oluşturması, besin ve hormonlar başta olmak üzere birçok organik bileşiğin taşıyıcısı olması, hücresel fonksiyonlar için çözücü rol oynaması nedeniyle hücredeki su kaybı ile hücrenin normal işleyişi devam edemez ve metabolizması bozulur. Buna bağlı olarak hücrede protein denatürasyonları (yüksek sıcaklıklarda hücre içindeki protein yapısının bozulması) ve enzim inhibisyonları (enzim aktivitesinin durması) gerçekleşir (BRAY 1997). Oksidatif etki ise serbest radikallerin, özellikle aktif oksijen türlerinin oluşumunu içerir. Bu etki de bitkide gözle görülür zararlara ve hatta bitkinin ölümüne neden olabilir.

Bitkiler kuraklık stresine karşı "kuraklıktan sakınma" ve "kuraklığa tolerans" olarak ifade edilebilecek, iki şekilde savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Kuraklıktan kaçınma, bitkilerin bünyesindeki su kaybını anatomik, morfolojik ve fizyolojik özellikler sayesinde engellemesidir. Buna örnek olarak kuraklık durumunda bitkinin suyun harcayıcısı durumundaki

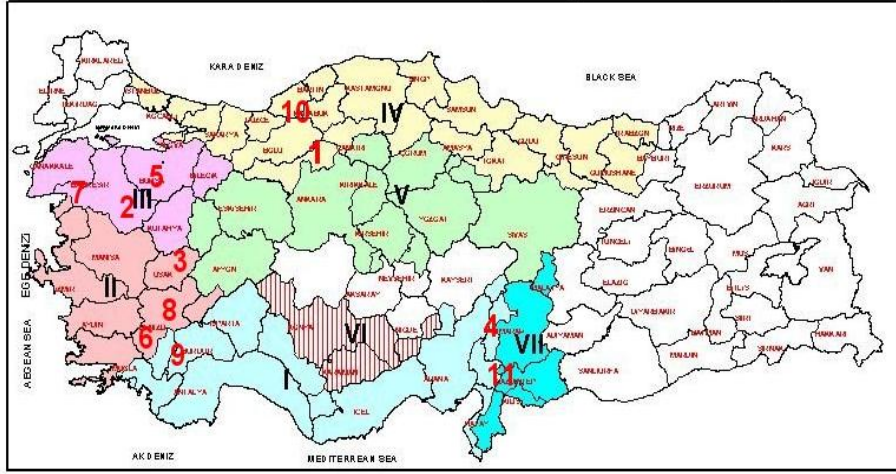
gövdesini küçültmesi buna karşın kökünü büyütmesi gösterilebilir. Kuraklığa tolerans durumunda ise zarar oluşumunun önüne geçilmek yerine, oluşan zarara rağmen en azından hayatta kalınabilmektedir. Bu nedenle kuraktan sakınma daha iyi bir özelliktir ve bu tür bitkiler kuraklık koşullarında da daha iyi bir büyüme ve gelişme göstermektedir (LARCHER 1995).

Kuraklık ağaçlandırma alanlarında olduğu gibi, doğal gençleştirme alanlarında oluşan zararların da en önemli nedenlerindedir. WILINSTON (1972), doğal gençleştirmede ilk yıl görülen fidan kayıplarının %57'sinin su eksikliğinden kaynaklandığını belirtmektedir. Her ne kadar ilişkileri direkt olarak ortaya koyan çalışmalar yoksa da, Anadolu karaçamı'nın gelişiminin de kuraklıktan olumsuz yönde etkilendiği ülkemizde yapılan bazı çalışmalar ile dolaylı olarak ortaya konmuştur. Nitekim KALIPSIZ (1963), türün yayılış alanında yıllık yağışın 600–1600 mm olduğunu, optimumunun ise 1000 mm olduğunu ve bu optimumdan uzaklaşıldığı oranda, toprağın su içeriğinin ve sıcaklığının önem kazandığını belirtmiştir. ÖZDEMİR (1980) Türkiye'nin önemli kurak mntıklarında Karaçam'la uygun ağaçlandırma teknikleri bulmak için bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada yarı nemli Eskişehir deneme alanında kullanılan değişik tekniklerle %90'ın üzerinde tutma başarısı yakalarken daha kurak olan Konya-Ereğli'de %10–15 tutma başarısını yakalayabilmiştir. ERUZ (1984), Karaçam'ın gelişiminde nem koşullarının önemli rol oynadığını belirtmektedir. Türkiye genelinde yapılan Anadolu karaçamı orijin denemelerinin ilk sonuçları, İç Anadolu'da deneme alanlarındaki yaşama yüzdesi ve büyüme başarısının diğer bölgelere oranla düşük olduğunu göstermiştir (ŞİMŞEK ve ark. 1995). KARADAĞ (1999) Karaçam doğal gençleştirmelerinde, Karaçam gençliğinin ilk 2–3 yıl içerisindeki gelişmesinde nem faktörünün ışığa göre daha belirgin rol oynadığını ortaya koymuştur. KARABULUT (2001) ise, Eskişehir yöresindeki Anadolu karaçamı ağaçlandırmalarında, 15 yıllık periyodu incelemiş ve yıllık sıcaklıkla yıllık halka genişliği arasında ters yöndeki ilişkinin varlığını ortaya koymuştur. ÇELİK ve ark. (2002) Ankara çevresindeki Anadolu karaçamı ağaçlandırmalarında görülen kurumaların, yörede birkaç yıl arka arkaya yaşanan kuraklıktan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu nedenle Anadolu karaçamı'nda kuraklığın oluşturacağı zararı azaltmak için kurağa dayanıklı orijinlerin belirlenerek, bazı ilkeler çerçevesinde kullanılması gerekir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Don ve kuraklık konusunda yapılan denemelerde Anadolu karaçamı'nın 11 orijinine ait tohum ve fidanları kullanılmıştır. Orijinlerin seçiminde Türkiye Milli Ağaç Islahı ve Tohum Üretim Programı dikkate alınmıştır. Akdeniz (I), Ege (II), Marmara (III), Karadeniz (IV), Kuzey İç Anadolu (V) ve Amanos ardı (VII) zonlarından orijinler kullanılmıştır (Şekil 3.1). Güney İç Anadolu Bölgesi (VI) zonundan tohum sağlanamadığı için bu zondan orijinler kullanılmamıştır. Orijinlere ait fizyografi ve iklim bilgileri çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan orijinlerin konumları **1-Kızılcahamam-Kızılcahamam** **2-Tavşanlı-Balıköy** **3-Afyon-Ahırdağı** **4-Andırın-Akifiye** **5-M.K. Paşa-Burhandağı** **6-Yılanlı-Yılanlı** **7-Balıkesir-Korucu** **8-Denizli-Kocabaş** **9-Gölhisar-Gölhisar** **10-Mengen-Daren** **11-Göksun-B.çamurlu**

Figure 3.1. Locations of the origins

Çizelge 3.1. Orijinlerin fizyografik bilgileri ve orijine en yakın meteorolojik iklim verileri
Table 3.1. Some physiographic attributes and meteorological data of origins

Orijin Bilgileri						Meteoroloji Bilgileri							
Orijin Origin	Enlem Latitude	Boylam Longitude	Rakım (m) Altitude	Bakı Aspect	Islah Zonu Breeding Zone	En Yakın Meteoroloji İstasyonu Nearest Meteorological Station	Enlem Latitude	Boylam Longitude	Rakım(m) Altitude	Yıllık Yağış Ort. (mm) Annual precip. Aver.	Ort. Sıc. (°C) Aver. Temp.	Ort. Düşük Sıc. (°C) Aver. Low Temp.	En Düşük Sıc. (°C) Max. Low. Temp.
K.hamam Soğuksu	40 28 30	32 36 41	1350	K-D	4.3	K.hamam	40 28	32 39	1033	565,2	9,8	3,8	-22,8
Tavşanlı Bahköy	39 24 20	29 04 00	1500	K	3.3	Tavşanlı	39 33	29 30	834	468,7	11,2	4,3	-22,5
Afyon Hocalar	38 40 47	30 03 21	1350	K-KB	5.3	Afyon	38 45	30 32	1034	417,5	12,3	5,3	-19,4
Andırın Akifiye	37 44 25	36 21 45	1450	GD	1.3	Göksun	38 01	36 30	1344	622,1	8,8	1,8	-33,5
M.K. Paşa Burhandağı	39 54 10	29 43 00	1000	B-KB	3.2	Keles	39 55	29 04	1063	720,0	9,5	4,5	-20,2
Yılanlı Yılanlı	37 11 27	28 32 08	1100	K-KB	2.2	Muğla	37 13	28 22	646	1161,5	14,9	9,5	-9,9
Balıkesir Korucu	39 23 07	27 15 57	800	K-KD	3.1	Balıkesir	39 38	27 53	102	543,8	14,5	9,2	-12,2
Denizli Kocabaş	37 42 00	29 27 00	1300	K	2.3	Acıpayam	37 25	29 20	941	525,5	12,7	5,5	-18,0
Göhlisar Göhlisar	37 02 08	29 27 52	1150	K	1.2	Tefenni	37 19	29 46	1142	464,2	11,8	5,4	-18,0
Mengen Daren	40 57 20	32 17 00	935	K-GD	4.2	Bolu	40 44	31 31	742	544,8	10,4	4,9	-22,6
Göksun B. çamurlu	36 51 36	36 23 05	1650	G	7.3	Göksun	38 01	36 30	1344	622,1	8,8	1,8	-33,5

Denemelerde kullanılan tohumlar Ağaçlandırma genel Müdürlüğü stoklarından temin edilmiştir. 2003 yılının nisan ayında, Kızılcahamam Orman Fidanlığı'nda Enso tipi kaplara ekilmiştir. Başlangıçta her bir kaba 5 adet tohum ekilmiştir. Tohumlar imlendikten sonra her bir kapta sadece tek bir fidanın büyümesi için, fazla olanları makasla kesilerek, tekleme yapılmıştır. Yaz mevsiminde sera dışında büyütülen fidanlar Ekim ayında ısıtılmayan seralara alınmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Dona dayanıklılığın belirlenmesinde kullanılan yöntemler

3.2.1.1. Kışın yapılan dona dayanıklılık testinde kullanılan yöntemler

Kış denemeleri için kullanılacak olan 11 orijine ait fidanlar ısıtılmayan seradan alınarak soğuğa uyum uygulaması için iklim odasına yerleştirilmiş ve burada 75 gün süre ile +5  C'de bekletilmişlerdir. İklım odası içinde doğadaki, kışın kısalan günü taklit amacı ile, 150  mol.m⁻².s⁻¹ şiddetinde floresans lambalar kullanılmıştır. Aydınlatma 9 saat gündüz, 15 saat gece şeklinde uygulanmıştır. Bağıl nem %80–85 arasında tutulmuştur. Soğuğa uyum süreci boyunca fidanların toprağı tarla kapasitesi düzeyini koruyacak şekilde sulanmıştır.

Kış donu uygulamasında kullanılan düşük sıcaklık kademelerinin, yapılan ön denemeler sonrasında, -20, -25, -30 ve -40  C olmasına karar verilmiştir. Bir grup fidan, dondurulmayarak kontrol grubu olarak ayrılmıştır. Geri kalan fidanlar soğutucu kabinlere transfer edilmiştir. Soğutma kabini içine yerleştirilen fidanlar, karanlıkta ve sıcaklıkları her bir saatte 5  C (AITKEN ve ADAMS 1997; BURR ve ark. 2001; TINUS 2002) azaltılarak, hedeflenen sıcaklık kademelerine ulaştırılmıştır. Düşük sıcaklık kademelerinde fidanlar 16 saat süreyle bekletilmişlerdir. Bu süre sonunda donmuş fidanların yavaş yavaş üzülmelerini sağlamak için soğutma kabinlerinin sıcaklıkları 5  C sa⁻¹ artırılarak oda sıcaklığına çıkarılmıştır. Ardından fidanlar üzerinde iyon sızıntısı ve klorofil floresans ölçümleri yapılmıştır.

3.2.1.2. İlkbaharda yapılan dona dayanıklılık testinde kullanılan yöntemler

Bu mevsimde yapılan çalışmada, tepe tomurcukları patlamış 11 orijine ait fidanlar kullanılmıştır. Fidanlardan bir grup, dondurulmayıp kontrol grubu olarak alınmıştır. Geri kalan fidanlar 24–25 Nisan 2004'de, +3, -3, -7 ve -14  C'lerde düşük sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Soğutma kabininde karanlıkta sıcaklık 5  C sa⁻¹ azaltılarak, hedeflenen sıcaklık kademelerine ulaşılmıştır. Bu sıcaklık kademelerinde fidanlar 5 saat süreyle

bekletilmişlerdir. Bekletme süresi sonunda donmuş fidanların yavaş yavaş çözümlerini sağlamak amacı ile soğutma kabinlerinde sıcaklık 5 °C sa⁻¹ hızla, artırılarak tekrar oda sıcaklığına getirilmiştir.

3.2.1.3. Oluşan zararın ölçülmesinde kullanılan yöntemler

Kış ve ilkbahar dona dayanıklılık testleri sonrasında fidanlarda oluşan don zararının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri iyon sızması yöntemidir (GLERUM 1985; BURR 1990; SUTINEN ve ark. 1992; PRASIL ve ZAMECNIK 1998; TINUS 2002). Kontrol gruplarına ait relatif iletkenlik (RC_{kontrol}) ve dondurulmuş gruplara ait relatif iletkenlik (RC_{donmuş}) değerleri yaprak kesitlerinde, Kondüktivimetre aleti ile ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Oluşan zarar Relatif iletkenlik değerleri kullanılarak, FLINT ve ark. (1967)'nin önerdiği yaralanma indeksi formülüne göre yaralanmanın miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır (GLERUM 1985). Yaralanma indeksi (I_t) formülü aşağıdaki gibidir. Büyük yaralanma indeksi (I_t) değerleri fazla zarar görmüş olmayı, küçük değerler ise az zarar görmüş olmayı ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} RC_{\text{kontrol}} &= (\text{İlk okuma} / \text{Son okuma}) \times 100 \\ RC_{\text{donmuş}} &= (\text{İlk okuma} / \text{Son okuma}) \times 100 \\ I_t &= (RC_{\text{donmuş}} - RC_{\text{kontrol}}) / (1 - (RC_{\text{kontrol}} / 100)) \end{aligned}$$

Oluşan don zararının miktarını belirlemede kullanılan ikinci yöntem ise Klorofil a floresans ölçümleridir. Bu ölçümler öncesinde, fidanların tilakoid membranlarında don nedeniyle oluşan zararların hızlı bir şekilde açığa çıkması için, BURR ve ark. (2001) tarafından önerildiği gibi, soğuğa uyum işlemi gören kontrol grubu ve dona dayanıklılık testinde dondurulmuş olan fidanlar, 5 saat süreyle 400 µmol m⁻²s⁻¹ ışık altında oda sıcaklığı koşullarında bekletilmiştir. Bu bekletmenin ardından ibrelere takılan klipsler yardımıyla 30 dakika boyunca karanlığa adapte edilmişlerdir. Floresans ölçümleri, modüler floresans sistemi (FMS-2, Hansatech Instruments Ltd. Kings Lynn, U.K.) kullanılarak oda sıcaklığı koşullarında yapılmıştır. Fotosistem II (PSII)'nin fotokimyasal verimliliği (F_v/F_m) aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır. F_v/F_m oranındaki azalma fotosentetik aktivitede meydana gelen azalmanın iyi bir göstergesidir. Sağlıklı bitkilerde 0.832 civarında olan bu değer, 0.8'in altına inmesi çevresel bir stresin olduğunun belirtisidir (MAXWELL ve JOHSON 2000).

$$F_v/F_m = [(F_m - F_0) / F_m]$$

Çevresel stres altındaki hücre membranlarında ortaya çıkan oksidatif hasardan en fazla etkilenenler lipidler ve proteinlerdir. Kloroplastlarda elektronların doğrudan fotosistem I den (PSI) oksijene aktarılması,

süperoksit anyonu (O_2^-) ve özellikle hidroksil radikalleri (HO^\cdot) gibi reaktif oksijen türleri oluşumuna sebep olmakta ve bu radikaller de lipidlere büyük zarar vererek membranlarda peroksidasyonlara neden olmaktadır (KACAR ve ark. 2002). Don stresine maruz kalan bitkilerin membranlarında meydana gelen bu durum, lipid peroksidasyonunun son ürünü olan Malondialdehit (MDA) oluşumuna neden olur. MDA'nın ölçülmesinde en çok kullanılan yöntem, MDA'nın thiobarbiturik asit (TBA) ile verdiği reaksiyon sonucunda oluşan renk yoğunluğunun, spektrofotometrik olarak ölçümüne dayanır. MDA miktarı $nmol.g^{-1}$ taze ağırlık $^{-1}$ olarak hesaplanmaktadır (HODGES ve ark. 1999).

Kış ve ilkbahar don denemelerinde Faktöriyel Deneme Deseni kullanılmıştır. Denemeler 11 orijine ait fidanlar kullanılarak, 5 tekrarlı ve her tekrarda 5 adet fidan olacak şekilde kurulmuştur. Buna göre, bir mevsimde yapılan denemede 1100 adet fidan (11 orijin x 4 sıcaklık kademesi x 5 tekrar x 5 fidan = 1100) düşük sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Orijinler arasındaki dona dayanıklılık farkı ve sıcaklık kademelerinin orijinlere etkisi varyans analizleri (ANOVA) ile belirlenmiştir. Ölçülen değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.2.2. Su stresinin orijinlere etkisini araştırmada kullanılan yöntemler

3.2.2.1. Su stresinin tohumların çimlenmesine etkisini belirlemede kullanılan yöntemler

Farklı orijinlere ait Anadolu karaçamı tohumlarının farklı su potansiyeli düzeyindeki koşullarda çimlendirilmesiyle, su stresinin çimlenme üzerine etkisi ve orijinler arasındaki farklar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Saf suya belirli bir miktarda polietilen glikol (PEG 6000) koyarak değişik su stresine sahip ortamlar oluşturulmuştur. Polietilen glikol düşük molekül ağırlıklı bir madde olup su alımını düzenleyerek, ortamı istenilen su stresi koşullarında tutmaktadır. Ayrıca PEG 6000 bitki köklerinde alınmamakta ve toksik etki yaratmamaktadır. Fakat bu madde kullanılarak hazırlanan çözelti içerisindeki oksijen zamanla azalmaktadır. Oksijen azalışının etkisi de ortamın çimlendirme kâğıtlarının 3-4 günde bir değiştirilmesiyle giderilebilmektedir. ÇALIKOĞLU (2002)'na göre 2, 4, 6 bar'lık su stresi ortamları hazırlamak için kullanılması gereken PEG 6000 miktarı aşağıdaki gibidir:

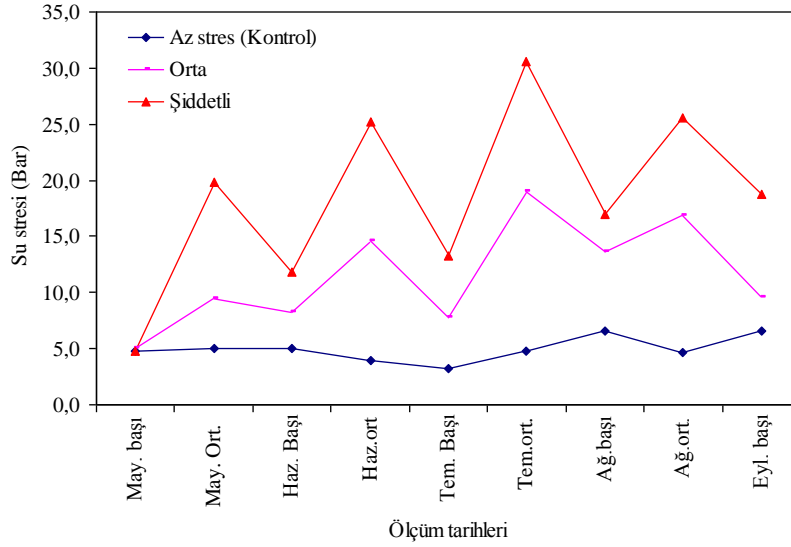
<u>Ortamın su stresi (bar)</u>	<u>PEG 6000 (gr)/H₂O (kg)</u>
0	0
2	104.98
4	164.30
6	209.45

Tohumlar çimlenme ortamına ekilmeden önce saf sudan geçirilmiştir. Çimlenme testi için 11 cm çapında cam petripler kullanılmıştır. Bu petriplerin tabanına altlık olarak Watman no:1 filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Petri kapları ve filtre kağıtları otoklavda sterilize edilmiştir. Çimlendirme testleri: 20 °C sabit sıcaklıkta ve 1500 lux ışık şiddetinde iklim odasında 21 gün süre ile gerçekleştirilmiştir. Deneme süresince petri kapları, filtre kâğıtları ve solüsyonlar, 3'er gün ara ile değiştirilmiştir. Deneme 11 farklı orijin, 4 farklı su stresi düzeyi ile 4 tekrarlı ve her tekrarda 50 adet tohum olacak şekilde kurulmuştur. Tohumların çimlenmeleri günlük olarak izlenmiş ve kayıtları tutulmuştur.

3.2.2.2. Su stresinin fidanların yaşama ve gelişmelerine etkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Çalışmada, Enso tipi kaplara ekilip 1 yaşına getirildikten sonra polietilen tüplere alınıp burada 2 yaşına kadar büyütülen 11 orijinden fidanlar kullanılmıştır. Tüplü fidanlara su stresi uygulanabilmesi için öncelikle bunlar kökleri toprakla temas etmeyecek şekilde beton üzerine deneme desenine uygun olarak sıralanmıştır. Deneme Bölünmüş Parseller tertibinde ve 3 tekrarlı olarak kurulmuştur. Sulama faktörü ana parsellerde orijin faktörü ise alt parsellerde yer almıştır. Desene göre, denemelerde toplam 2574 adet fidan (11 orijin x 3 tekrar x 3 su stresi düzeyi x 26 adet fidan her parselde = 2574) kullanılmıştır. Denemede fidanlar 1 Mayıs'tan 30 Ağustos 2005'e kadar üç farklı sulama rejimi kullanılarak sulanmıştır. Bu dört aylık dönemde yağmur almamaları için fidanların üzeri plastik materyal ile örtülmüştür. Sulama rejimlerinin oluşturulmasında fidanlar, 2'şer gün, 15'er gün ve aylık aralıklarla sulanmıştır. Bu sulamaların etkisi ile oluşan su stresinin şiddeti ise her 15 günde bir sabaha karşı her sulama rejiminden rasgele örneklenen 6 adet fidan üzerinde yapılan, şafak öncesi su potansiyeli düzeyleri ölçümleriyle ortaya konmuştur. Uygulanan sulama rejimleri sayesinde az, orta ve şiddetli su stresine maruz bırakılan fidanların su stresi düzeyleri sırasıyla 5, 10 ve 20 bar civarında olmuştur (Şekil 3. 2).

Mayıs başından ağustos sonuna kadar süren 4 aylık su stresi uygulaması sonrasında yaşayan fidanlar sayılmıştır. Kontrol işlemlerindeki yaşama yüzdesi farklılıklarının yapılacak varyans analizi sonuçlarındaki yanıltıcı etkilerini elimine etmek için, kontrol işlemindeki değerler 100 kabul edilmiş ve diğer stres düzeyi işlemlerindeki değerler 100'e oranlanmıştır. Böylece işlemler ve orijinler arası farklar daha rasyonel bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kök boğazı çapı ve fidan boyları ölçülmüştür. Orijinlerin stres uygulaması öncesindeki boy değerleri ve stres uygulaması sonrasındaki boy değerleri kullanılarak boy artım yüzdeleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Az (kontrol), orta ve şiddetli su stresine maruz bırakılan fidanların su stresi düzeylerinin deney süresince gösterdiği genel seyir

Figure 3.2. Trend of water stress on low (control), medium and severe stressed seedlings.

Varyans analizlerinde bu hesaplanan boy artım yüzdeleri kullanılmıştır. Varyans analizinde artım yüzdelerinin kullanılarak, su stresi uygulamasına başlanıldığında orijinler arasında var olan boy farkının yanıtıcı etkisinden kaçınılmaya çalışılmıştır. Ayrıca her işlem parselinden 7 adet fidan sökülerek morfolojik ölçümler yapmak üzere laboratuvara taşınmıştır. Laboratuarda fidan boyu (FB), kök boğazı çapı (KBÇ), gövde taze ağırlığı (GTA), kök taze ağırlığı (KTA), gövde kuru ağırlığı (GKA) ve kök kuru ağırlığı (KKA) özellikleri ölçülmüştür. Gövde kuru ağırlığının kök kuru ağırlığına oranlanmasıyla da gövde/kök (GKA/KKA) oranı bulunmuştur.

Su stresi düzeyi ve orijin faktörlerinin fidanların fotosentetik verimliliğine etkisini araştırmak üzere temmuz ayında her işlem parselinde 7 adet fidanda klorofil floresans ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Klorofil floresans miktarları ile morfolojik fidan karakteristiklerinin ilişkisi korelasyon analizi yapılarak araştırılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Dona Dayanıklılık Bulguları

4.1.1. Kışın yapılan dona dayanıklılık testi bulguları

11 Orijine ait fidanlar, -20, -25, -30 ve -40 °C sıcaklık kademelerinde dondurulmuşlardır. Bu düşük sıcaklıklarda, fidanların yapraklarındaki hücrelerin membranlarında oluşturduğu yaralanma miktarı iyon sızması (I_t), fotokimyasal aktivite (F_v/F_m) ve malondialdehit miktarı arasındaki korelasyonlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Yapılan korelasyon analizine göre uygulanan düşük sıcaklık ile yaralanma indeksi arasında anlamlı ($p<0.001$) kuvvetli-negatif bir ilişki söz konusudur. Sıcaklık ile lipid peroksidasyonu (MDA) arasında ise anlamlı korelasyon bulunamamıştır. Sıcaklık ile MDA arasında korelasyon olmaması, Anadolu karaçamı'nda uygulanan düşük sıcaklık stresi sonucunda oluşan zararın belirlenmesi için lipid peroksidasyonunun iyi birer gösterge olmadığını işaret etmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Sıcaklık ile F_v/F_m , MDA ve I_t arasındaki korelasyon katsayıları

Table 4.1. Among temperature, F_v/F_m , MDA and I_t Pearson correlation coefficients.

Değişkenler Variables	Sıcaklık Temperature	F_v/F_m F_v/F_m	MDA MDA	I_t I_t
Sıcaklık	1.000	0.830**	-0.078 ^{ns}	-0.858**
F_v/F_m		1.000	0.058 ^{ns}	-0.806**
MDA			1.000	-0.088 ^{ns}
I_t				1.000

ns=anlamlı değil; ** $p<0.01$; olasılık düzeyinde anlamlı

Yapılan varyans analizi sonucunda (Çizelge 4.2), uygulanan sıcaklık kademelerinin ($p<0.001$) ve orijinlerin ($p<0.01$) yaprak doku hücrelerinin yaralanma indeksleri üzerinde istatistiksel olarak önemli etkilerinin olduğu ancak, sıcaklık kademesi ile orijin arasındaki etkileşimin önemli olmadığı belirlenmiştir. Bu her bir sıcaklık kademesinde orijinlerin sıralamalarının değişmediğini göstermektedir. Bu nedenle orijinlerin genel ortalama değerlerine göre sıralama yapılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2. Kışın uygulanan donma sıcaklıklarında 11 orijine ait fidanların yaralanma indekslerine (I_r) ait varyans analizi

Table 4.2. Variance analysis of relative injury index (I_r) of 11 origins exposed to freezing in winter

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ort. Mean squares	F	P
Sıcaklık	3	177850.02	59283.4	265.21	P<0.001
Orijin	10	6654.6	665.5	2.98	P<0.002
Sıcaklık x Orijin	30	3415.1	113.8	0.51	0.984
Hata	176	39341.3	223.5		

Çizelge 4.3'deki Duncan testi sonuçları incelendiğinde sıcaklık düştükçe hücre membranlarında oluşan yaralanma miktarının arttığı görülmüştür. -20 °C'lik düşük sıcaklık uygulaması sonucu oluşan %2'lik yaralanma oldukça düşük bir değer olup, fidanlar tarafından tolere edilebilecek bir zarardır. Ancak sıcaklık -25 °C'ye düşürüldüğünde, yaralanma miktarının %58.48'e çıktığı görülmüştür. %50'yi geçen yaralanmaların ciddi anlamda yaprak dokusunu oluşturan hücrelerin membran bütünlüğünü bozduğu göz önüne alınır ise Anadolu karaçamı'nda -25 °C'den düşük sıcaklıkların önemli zararlar oluşturduğu söylenebilir. Yine Duncan testi sonuçları, her bir sıcaklık kademesinin, oluşan yaralanma miktarı bakımından, bağımsız bir grup oluşturduğunu göstermektedir. Orijinlerin ortalama yaralanma indeksleri karşılaştırıldığında, Mustafa Kemal Paşa, Afyon ve Balıkesir orijinlerinin en fazla etkilenen orijinler olduğu, görülmüştür (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Farklı donma sıcaklık kademelerinde 11 farklı Anadolu karaçamı orijininin hücre membranındaki yaralanma indeksleri (I_t)
Table 4.3. Injury index (I_t) of different 11 origins under different freezing temperature

Orijinler Origins	Sıcaklık Kademeleri (°C) Temperature Levels (°C)				Ortalama Average
	- 20	- 25	- 30	- 40	
M.K. Paşa Burhandağı	5.30	72.73	79.62	91.03	62.17 a
Balıkesir Korucu	1.26	71.42	73.39	79.50	56.39 ab
Afyon Hocalar	1.69	65.43	69.24	75.74	53.02 abc
Yılanlı Yılanlı	1.75	61.65	68.00	74.13	51.39 bcd
Denizli Kocabaş	1.85	51.50	67.10	82.05	50.62 bcd
Göhlisar Göhlisar	1.30	62.93	60.90	75.05	50.04 bcd
Tavşanlı Balıköy	2.14	52.08	69.80	75.19	49.80 bcd
K.hamam Soğuksu	3.00	54.18	68.70	72.12	49.50 bcd
Göksun B. çamurlu	0.79	53.88	60.90	63.60	44.78 cd
Mengen Daren	1.71	49.56	58.30	67.52	44.28 cd
Andırın Akifiye	1.16	48.00	58.20	58.40	41.44 d
Ortalama Average	2.00 D	58.48 C	66.74 B	74.03 A	50.31

Orijinler arasında dona dayanıklılık düzeyi bakımından fark olduğunun belirlenmesi üzerine bu farkın ortalama sıcaklık, ortalama düşük sıcaklık ve en düşük sıcaklık ile olan ilişkisini araştırmak için basit korelasyon analizi yapılmıştır. Basit korelasyon analizi sonucunda orijinlerin ortalama yaralanma indeksleri ile orijinlere en yakın meteoroloji istasyonundan alınan ortalama düşük sıcaklık verisi arasında, anlamlı ($p < 0,05$) fakat zayıf (0,389) bir ilişki belirlenmiştir. -20, -25, ve -30 °C'deki I_t değerleri ile en düşük sıcaklık, en düşük sıcaklıklar ortalaması ve ortalama

sıcaklık arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Orijinlerin -40 °C'deki yaralanma indeksleri ile orijinlere en yakın meteoroloji istasyonundan alınan en düşük sıcaklık iklim verisi arasında ise, anlamlı ($p<0,05$) ve orta kuvvetli ($r= 0,659$) bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Yine orijinlerin ortalama yaralanma indeksleri ile en yakın meteoroloji istasyonundan alınan en düşük sıcaklık iklim verisi arasında da anlamlı ($p<0,05$) ve orta kuvvetli ($r= 0,639$) bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu ilişkilere göre, orijinlerin dayanıklılık düzeyleri ile geldikleri yörenin en düşük sıcaklığı arasında bir ilişki vardır. Orijin, geldiği yetiştirme ortamında ne kadar şiddetli düşük sıcaklığa maruz kalmış ise dona dayanıklılık testleri sonucunda da o denli dona dayanıklı bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Orijinlerin sıcaklık kademelerindeki ortalama yaralanma indeksleri ile bu orijinlere ait bazı iklim verileri arasındaki ilişkiyi gösteren Pearson korelasyon matrisi

Table 4.4. Pearson correlation matrix for mean injury index of origins and climate data

Değişkenler Variables	Ort. I _t Aver. I _t	Ort. Düş. Sıc. Aver. Low Temp	En Düş. Sıc. Min. Low Temp	Ort. Sıc. Average Temp.
-20 ⁰ C'deki I _t	0,680*	-0,034	0,157	- 0,235
-25 ⁰ C'deki I _t	0,882**	0,558	0,596	0,426
-30 ⁰ C'deki I _t	0,934**	0,414	0,521	0,304
-40 ⁰ C'deki I _t	0,934**	0,481	0,659*	0,395
Ort. I _t	1	0,515	0,639*	0,389*
Ort.Düş. Sıc.		1	0,953**	0,946**
En Düş. Sıc.			1	0,900**
Ort. Sıc.				1

* $p<0.05$; ** $p<0.01$; olasılık düzeyinde anlamlı

Düşük sıcaklık ve orijin faktörlerinin F_v/F_m 'ye etkisini araştırmak için yapılan varyans analizi (Çizelge 4.5) sıcaklık, orijin faktörlerinin ve sıcaklık ile orijinin etkileşiminin fotosentetik verimlilik üzerinde etkili ($p<0.001$) olduğunu göstermektedir. İnteraksiyon etkisinin anlamlı olması uygulamada her sıcaklık kademesi için dona dayanıklılık bakımından orijin sıralamasının değiştiğini göstermektedir.

Çizelge 4. 5. Kışın uygulanan donma sıcaklıklarında, sıcaklık ve orijin faktörlerinin fidanların fotosentetik verimliliklerine (F_v/F_m) etkisini gösteren varyans analizi

Table 4. 5. The effect of temperature and origins factors on photosynthetic efficiency (F_v/F_m) of seedlings in the different freezing temperature and their variance analysis

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ortalaması Mean squares	F	P
Sıcaklık	4	20.8911	5.2227	329.38	P<0.001
Orijin	10	1.1917	0.1191	7.52	P<0.001
SıcaklıkxOrijin	40	2.2539	0.0563	3.55	P<0.001
Hata	220	3.4884	0.0158		

Donun şiddetinin artmasıyla elektronların PS II'den PS I'e iletiminin kısmi olarak bloke olması veya azalması ile Q_A oksidasyonu sınırlanmakta ve F_v/F_m oranı düşmektedir. Kontrol ve $-20\text{ }^\circ\text{C}$ düşük sıcaklık kademesinde Anadolu karaçamı orijinleri arasında F_v/F_m bakımından önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra her bir orijinin $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'de belirlenen F_v/F_m oranının kontrole göre azaldığı, ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır (Çizelge 4.6). $-25\text{ }^\circ\text{C}$ Donma sıcaklık kademesinde ise, orijinler arasında farklılıklar ortaya çıktığı gibi, sıcaklığın düşüşü, kontrol ve $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye göre orijinlerin F_v/F_m oranında yani fotosentetik performanslarında da azalmaya neden olmuştur. $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki sıcaklık kademesinden, Balıkesir orijininin çok etkilendiği ve fotosentetik aktivitesinin kontrole göre %91 oranında azaldığı (hemen hemen durduğu) saptanmıştır. Buna karşın $-25\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık kademesinde Kızılcahamam, Afyon, Andırın ve Mengen orijinlerinin fotosentetik etkinliklerindeki azalmanın sırası ile %20.9, 28.8, 34.4 ve 38.5 olduğu ve diğer orijinlere göre dona daha fazla dayanabildikleri belirlenmiştir. Bunlardan Andırın, Mengen ve Göksun orijinlerinde bu etki, $-30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de devam etmiş ve fotosentetik verimlilik bakımından diğer orijinlere kıyasla daha dayanıklı oldukları saptanmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Farklı donma sıcaklığı kademelerinde 11 farklı Anadolu karaçamı orijininin F_v/F_m oranları

Table 4.6. F_v/F_m values of 11 different origins in the different freezing temperature and Duncan test results

Orijinler Origins	Sıcaklık Kademeleri ($^{\circ}\text{C}$) Temperature Levels ($^{\circ}\text{C}$)					Ortalama Average
	Kontrol	- 20	- 25	- 30	- 40	
Mengen Daren	0.866 a A	0.806 a A	0.533 ab B	0.470 a B	0.369 ab B	0.609 a
Göksun B. çamurlu	0.870 a A	0.839 a A	0.442 bcd B	0.429 ab B	0.425 a B	0.601 ab
Andırın Akifiye	0.850 a A	0.836 a A	0.558 ab B	0.342 abc C	0.339 ab C	0.585 abc
Afyon Hocalar	0.853 a A	0.815 a A	0.607 ab B	0.307 abcd C	0.067 de D	0.530 bcd
Göhlisar Göhlisar	0.861 a A	0.822 a A	0.332 cde B	0.317abcd B	0.217 bcd B	0.510 cd
K.hamam Soğuksu	0.829 a A	0.790 a AB	0.656 a B	0.152 de C	0.066 de C	0.498 d
Yılanlı Yılanlı	0.864 a A	0.805 a A	0.232 ef B	0.283 bcd B	0.276 abc B	0.492 d
Tavşanlı Balıköy	0.861 a A	0.797 a A	0.506 abc B	0.177 cde C	0.017 e C	0.472 d
Denizli Kocabaş	0.867 a A	0.798 a A	0.224 ef B	0.229 cde B	0.201 bcde B	0.464 de
M.K.Paşa Burhandığı	0.867 a A	0.808 a A	0.300 de B	0.155 de B	0.148 cde B	0.455 de
Balıkesir Korucu	0.884 a A	0.812 a A	0.080 f B	0.078 e B	0.074 de B	0.386 e
Ortalama Average	0.861 A	0.812B	0.406 C	0.267 D	0.200 E	0.509

Tabloda sütünlardaki aynı olan küçük harfler istatistiksel olarak aralarında F_v/F_m bakımından fark olmayan orijinleri, satırlardaki aynı olan büyük harfler ise istatistiksel olarak aralarında F_v/F_m bakımından fark olmayan sıcaklık kademelerini gösterir.

Denemelerde kullanılan 11 orijin yaralanma indeksi (I_t) ve fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) değerlerine göre dona dayanıklılık bakımından sıralandığında her parametre için orijinlerin sıralamalarının farklı olduğu görülmüştür. Orijinler, parametrelerden bir tanesi dikkate alındığında yer aldıkları sırayı, bir diğer parametre dikkate alındığında kaybedebilmektedirler. Bu nedenle her parametre için orijinler en az zarar

görenden en fazla zarar görene doğru sıralanarak, dona dayanıklı orijinlerin daha açık bir şekilde görülebilmesi için çizelge 4.7 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.7. 11 Orijine ait fidanların ortalama I_t ve F_v/F_m parametreleri kullanılarak belirlenen dona dayanıklılık düzeyleri

Table 4.7. Cold tolerance levels of 11 origins using I_t and F_v/F_m parameters

Sıra No	Yaralanma İndeksine (I_t) göre	Fotosentetik Verimliliğe (F_v/F_m) göre
1	Andırın	Mengen
2	Mengen	Göksun
3	Göksun	Andırın
4	K.hamam	Afyon
5	Tavşanlı	Göhlhisar
6	Göhlhisar	K.hamam
7	Denizli	Yılanlı
8	Yılanlı	Tavşanlı
9	Afyon	Denizli
10	Balıkesir	M.K. Paşa
11	M.K. Paşa	Balıkesir

Çizelge 4.7 incelendiğinde Andırın, Göksun ve Mengen orijinlerinin dayanıklılık bakımından her zaman ilk üçe girdikleri görülmektedir. -30°C ve -40°C 'de F_v/F_m değerleri de diğer orijinlere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Balıkesir ve Mustafa Kemal Paşa orijinleri ise, dona dayanıklılık bakımından son sıralarda yer aldığı için dona daha duyarlı orijinler olarak nitelenebilirler (Çizelge 4.7).

4.1.2. İlkbaharda yapılan dona dayanıklılık testi bulguları

Bu mevsimdeki denemelerde uyku halinden çıkmış olan fidanlar kullanılmıştır. 11 orijine ait fidanlar +3, -3, -7 ve -14 °C sıcaklık kademelerinde düşük sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Düşük sıcaklık kademelerinin fidanların ibrelerinde hücresel düzeyde meydana getirdiği yaralanma miktarı ve fotosistem II aktivitesine etkisi ölçülmüştür.

Yapılan korelasyon analizine göre (Çizelge 4.8) uygulanan düşük sıcaklık ile yaralanma indeksi arasında anlamlı ($p<0,01$) kuvvetli-negatif bir ilişki söz konusudur. Buda uygulanan düşük sıcaklık ne kadar şiddetli ise hücre membranlarında yaralanmanın o kadar fazla olduğunu göstermektedir. Sıcaklığın F_v/F_m ile de anlamlı ($p<0,01$) ilişki gösterdiği görülmektedir. Sıcaklık ile MDA miktarı arasında, kışın yapılan denemelerde de olduğu gibi anlamlı korelasyon olmaması, Anadolu karaçamı'nda düşük sıcaklık uygulamaları sonucunda oluşan membran zararlarının zararın belirlenmesi için lipid peroksidasyonunun anlamlı bir gösterge olmadığını işaret etmektedir.

Çizelge 4.8. İlkbaharda uygulanan test sıcaklığı, F_v/F_m , MDA ve I_t arasındaki ilişkilerin önem derecesini gösteren Pearson korelasyon analizi sonuçları

Table 4.8. Pearson correlation analysis results showing relations among cold temperature, F_v/F_m , MDA and I_t in spring

Değişkenler Variables	Sıcaklık Temperature	F_v/F_m F_v/F_m	MDA MDA	I_t I_t
Sıcaklık	1.000	0.867**	0.078 ^{ns}	-0.852**
F_v/F_m		1.000	0.206**	-0.953**
MDA			1.000	-0.213**
I_t				1.000

ns=anlamlı değil;** $p<0,01$; olasılık düzeyinde anlamlı

İlkbaharda +3, -3, -7 ve -14 °C sıcaklık kademeleri kullanılarak yapılan dona dayanıklılık testleri sonucu orijinlerde ölçülen yaralanma indeksi değerleri (I_t) çizelge 4.10'de verilmiştir. Varyans analizi (Çizelge 4.9) sonucunda, ilkbaharda sadece sıcaklık kademelerinin yaralanma indeksleri üzerinde etkisinin ($p<0,001$) olduğu belirlenmiştir. Bu mevsimde orijinler arasında dona dayanıklılık bakımından fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.9. İlkbaharda uygulanan donma sıcaklıklarında, 11 orijine ait fidanların yaralanma indekslerine (I_t) ait varyans analizi tablosu

Table 4.9. Variance analysis result of injury index (I_t) of origins subjected to freezing in spring

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ortalaması Mean squares	F	P
Sıcaklık	3	213830.6	71276.9	901.63	P<0.001
Orijin	10	1228.1	122.8	1.55	0.124
SıcaklıkxOrijin	30	1837.2	61.2	0.77	0.793
Hata	176	13913.4	79.1		

Hücre membranlarında oluşan yaralanmalar bakımından uygulanan sıcaklık kademelerinin karşılaştırılması için Duncan testi yapılmıştır.

Çizelge 4.10. İlkbaharda uygulanan donma sıcaklıkları sonucunda orijinlerin I_t (%) değerleri ve Duncan testine göre sıcaklık kademelerinin gruplanması

Table 4.10. Injury index (I_t) of origins exposed to freezing in spring time and classification of origins using Duncan test

Orijinler Origins	Sıcaklık Kademeleri (°C) Temperature Levels (°C)				Ortalama Average
	+ 3	- 3	- 7	- 14	
Bahkesir-Korucu	1.7	7.9	67.0	67.3	36.0
K.hamam-Soğuksu	0.9	2.5	64.7	70.8	34.7
Afyon-Hocalar	0.8	2.7	66.2	66.9	34.2
Göksun-B. çamurlu	0.0	0.7	67.4	68.6	34.2
Andırın-Akifiye	0.6	0.0	63.9	68.6	33.3
Tavsanlı-Balıköy	2.0	0.5	64.3	65.4	33.1
Mengen-Daren	0.5	0.4	57.7	66.3	31.2
Yılanlı-Yılanlı	0.4	0.2	52.1	68.7	30.4
Denizli-Kocabaş	0.1	0.1	60.3	60.3	30.2
M.K. Paşa-Burhandağı	0.5	0.7	58.8	59.0	29.8
Göhlisar-Göhlisar	1.2	1.6	48.0	57.4	27.1
Ortalama Average	0.8 C	1.6 C	60.9 B	65.4 A	32.2

Duncan testi sonucunda +3 ile -3 °C sıcaklık kademeleri birlikte bir grup oluşturmuş, -7 ve -14 °C sıcaklık kademeleri ise ayrı birer grup oluşturmuştur (Çizelge 4. 10). -3 °C'de %1.6'lık, -7 ve -14 °C'de ise % 60.9 ve %65.4'lük yaralanmalar oluşmuştur. Bu yaralanma miktarları kıyaslandığında, ilkbaharda don zararının -3 ile -7 °C sıcaklık aralığında meydana geldiği söylenebilir (Şekil 4.1). Kışın -20 ile -25 °C, ilkbaharda ise -3 ile -7 °C aralığında şiddetli don zararı olması, Anadolu karaçamı'nda dona dayanıklılığın kışın ve ilkbaharda değişim gösterdiğini anlatmaktadır.



Şekil 4.1. Kışın ve ilkbaharda dona maruz kalan fidanların test sonrası görünümleri

Figure 4.1. A view of seedlings exposed to different low temperatures in winter and spring

Varyans analizi (Çizelge 4.11) sonucu fotosentetik verimlilik üzerine sıcaklığın etkili ($p < 0.001$) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. İlkbaharda uygulanan donma sıcaklıkları sonucunda 11 orijine ait fidanların fotosentetik verimliliklerine (F_v/F_m) ait varyans analizi sonuçları

Table 4.11. Variance analysis results of photochemical efficiency (F_v/F_m) of origins exposed to freezing in spring

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ortalaması Mean squares	F	P
Sıcaklık	4	42.5673	10.6418	2551.70	$P < 0.001$
Orijin	10	0.0210	0.0021	0.51	0.886
SıcaklıkxOrijin	40	0.1307	0.0032	0.78	0.820
Hata	220	0.9175	0.0041		

Yapılan Duncan testi sonucunda da kontrol, +3 ve -3 °C sıcaklık kademelerinin birlikte bir grup oluşturduğu, -7 ve -14 °C'nin ise bağımsız iki ayrı grup oluşturdukları görülmüştür (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. İlkbaharda farklı sıcaklık kademelerinde 11 farklı Anadolu karaçamı orijininin F_v/F_m değerleri

Table 4.12. F_v/F_m values of 11 different origins in the different temperature levels in spring

Orijinler Origins	Sıcaklık Kademeleri (°C) Temperature Levels (°C)					Ortalama Average
	Kontrol	+ 3	- 3	- 7	- 14	
Göksun-B. çamurlu	0.876	0.873	0.862	0.082	0.098	0.558
Balıkesir-Korucu	0.862	0.871	0.866	0.115	0.078	0.558
Andırın-Akifiye	0.864	0.870	0.871	0.171	0.001	0.555
Göhlhisar-Göhlhisar	0.870	0.864	0.862	0.082	0.051	0.546
Afyon-Hocalar	0.878	0.871	0.859	0.117	0.000	0.545
K.hamam-Soğuksu	0.876	0.874	0.849	0.121	0.000	0.544
Tavşanlı-Balıköy	0.865	0.876	0.865	0.099	0.000	0.541
Mengen-Daren	0.877	0.872	0.861	0.097	0.097	0.541
M.K. Paşa-Burhandağı	0.877	0.872	0.871	0.074	0.003	0.540
Denizli-Kocabaş	0.869	0.866	0.865	0.049	0.048	0.539
Yılanlı-Yılanlı	0.872	0.866	0.862	0.037	0.035	0.535
Ortalama Average	0.871 A	0.870 A	0.863 A	0.095 B	0.037 C	0.446

Bu sonuçlara göre fidanlar +3 ve -3 °C 'lık düşük sıcaklık değerleri ile karşılaştıklarında, fotosentetik verimliliklerinde herhangi bir kayıp olmamıştır. -7 ile -14 °C düşük sıcaklık kademelerinde ise, tüm orijinlere ait fidanlarda fotosentetik aktivite neredeyse tamamen kaybolmuş ve fotosentez durmuştur.

4.2. Su Stresi Uygulaması ile Elde Edilen Bulgular

4.2.1. Su stresinin tohumların çimlenmesine etkisi

Farklı orijinlere ait tohumların dört farklı su stresi koşullarındaki çimlenme yüzdeleri çizelge 4.13'de, her bir stres düzeyindeki oransal çimlenme yüzdeleri (0 bar'a göre) de çizelge 4. 14'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Tohumların farklı su stresi koşullarındaki çimlenme yüzdeleri

Table 4.13. Germination percentage of seeds for different water stress levels

Orijinler Origins	Su Stresi Düzeyleri (bar) Water Stress Levels (bar)				Ortalama Average
	0	2	4	6	
Denizli-Kocabaş	85	39	39	4	84
M.K. Paşa-Burhandağı	93	87	85	8	68
Tavşanlı-Bahköy	98	76	52	16	61
Mengen-Daren	95	71	60	15	60
Afyon-Hocalar	97	59	45	3	51
Göhlisar-Göhlisar	98	39	34	3	44
Yılanlı-Yılanlı	71	44	42	7	41
Balıkesir-Korucu	83	44	19	2	37
Göksun-B. çamurlu	62	1	4	0	17
K.hamam-Soğuksu	45	17	4	3	17
Andırın-Akifiye	58	1	0	0	15

Yapılan varyans analizi sonucunda sıcaklık, orijin faktörlerinin ve sıcaklık ile orijinin etkileşiminin oransal çimlenme üzerinde etkili ($p<0.001$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.15). İnteraksiyon etkisinin sıfırdan farklı olması nedeniyle her bir stres düzeyi için ayrı değerlendirme yapma gereği ortaya çıkmaktadır. Buna göre 2 bar stres düzeyinde M. K. Paşa, Tavşanlı ve Mengen; 4 bar stres düzeyinde M.K. Paşa, Mengen ve Yılanlı; 6 barda ise Tavşanlı, Mengen, Yılanlı, M. K. Paşa, Kızılcahamam ve Denizli orijinleri diğer orijinlere kıyasla daha yüksek çimlenme oranı göstermişlerdir.

Çizelge 4.14. Su stresi koşullarında tohumların oransal çimlenme yüzdeleri

Table 4.14. Relative germination percentage of seeds for different water stress levels

Orijinler Origins	Su Stresi Düzeyleri (bar) Water Stress Levels (bar)				
	0	2	4	6	Ortalama Average
M.K. Paşa-Burhandığı	100	95 a	92 a	8 ab	74
Mengen-Daren	100	75 bc	63 b	16 a	64
Tavşanlı-Balköy	100	77 b	53 bc	17 a	62
Yılanlı-Yılanlı	100	62 cd	59 b	9 ab	58
Afyon-Hocalar	100	61 d	46 bc	3 b	53
Denizli-Kocabaş	100	46 ef	46 bc	4 ab	49
Balıkesir-Korucu	100	53 de	22 de	2 b	44
Göhlisar-Göhlisar	100	39 ef	35 cd	3 b	44
K.hamam-Soğuksu	100	38 f	8 e	7 ab	38
Göksun-B. çamurlu	100	2 g	7 e	0 b	27
Andırın-Akifiye	100	2 g	0 e	0 b	25
Ortalama Average	100	50	39	6	49

Çizelge 4.15. Oransal çimlenme yüzdelerine ait varyans analizi

Table 4.15. Result of variance analysis of relative germination percentage

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ortalaması Mean squares	F	P
Su stresi	3	19.9338	6.6446	395.52	P<0.001
Orijinler	10	3.6220	0.3620	21.55	P<0.001
Su stresi x Orijin	30	3.0974	0.1032	6.15	P<0.001
Hata	132	2.217	0.017		

4.2.2. Su stresinin fidanların yaşama ve gelişmesine etkisi

Farklı orijinlere ait fidanların her bir stres düzeyindeki oransal yaşama yüzdeleri (kontrol'e göre) de çizelge 4. 16'da verilmiştir. Varyans analizine veriler oransal yaşama yüzdesi şeklinde girilmiştir. Analiz öncesi normal dağılıma uygunluk denetimi yapılmıştır. Verilerin normal dağılmadığının görülmesi üzerine de $Arc\ Sin\ \sqrt{P}$ dönüşümü kullanılarak normal dağılıma dönüştürülen değerler varyans analizinde kullanılmıştır.

Çizelge 4.16. Su stresi koşullarında fidanların oransal yaşama yüzdeleri
Table 4.16. Relative survival of seedlings for different water stress levels

Orijinler Origins	Su Stresi Düzeyleri (bar) Water Stress Levels (bar)			
	Az (Kontrol) Control	Orta Moderate	Şiddetli Severe	Ortalama Average
M.K. Paşa-Burhandağı	100	100	71	90 a
Tavşanlı-Balıköy	100	99	72	90 ab
Yılanlı-Yılanlı	100	96	71	89 ab
Afyon-Hocalar	100	99	64	88 ab
Balıkesir-Korucu	100	97	65	88 abc
Denizli-Kocabaş	100	101	59	87 abcd
K.hamam-Soğuksu	100	95	58	84 bcd
Mengen-Daren	100	96	55	84 bcd
Andırın-Akifiye	100	97	54	84 bcd
Göksun-B. çamurlu	100	95	48	81 cd
Göhlisar-Göhlisar	100	87	55	81 d
Ortalama Average	100 A	97 B	61 C	86

Su stresi düzeyleri ve orijinlerin fidanların oransal yaşama yüzdelerine etkisini araştırmak üzere yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.17.'de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, su stresi düzeylerinin $P<0.001$ düzeyinde, orijinlerin ise $P<0.01$ düzeyinde oransal yaşama yüzdesine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Su stresi ile orijin etkileşiminin ise olmadığı görülmüştür. Az, orta ve şiddetli su stresi işlemlerinin oransal yaşama yüzdeleri karşılaştırıldığında, istatistiksel olarak birbirinden farklı gruplar oluşturdukları görülmüştür. Kontrol grubuyla kıyaslandığında orta düzeydeki bir su stresi uygulaması fidanların yaşama başarısını %3 oranında, şiddetli su stresi uygulaması ise %39 oranında yaşama başarısını azaltmıştır. Çizelge 4.16'da verilen Duncan testi sonuçlarına göre M. K. Paşa orijini oransal yaşama yüzdesi bakımından ilk sırayı almış, onu Tavşanlı, Yılanlı, Afyon, Balıkesir ve Denizli orijinleri izlemiştir. Göksun ve Göhlisar orijinleri ise sıralamanın en altında kalmışlar ve su stresinden en fazla etkilenen orijinler olmuşlardır.

Su stresi düzeylerinin $P<0.001$ düzeyinde ve orijinin ise $P<0.01$ düzeyinde boy artım yüzdesine etkili olduğu belirlenmiştir. Su stresi ile orijin etkileşiminin ise olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.17. Su stresi ve orijinlerin oransal yaşama yüzdesine etkisini araştıran varyans analizi sonuçları

Table 4.17. Effect of water stress and origins factors on relative survival percentage of origins according to variance analysis result

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ortalaması Mean squares	F	P
Blok	2	0.0239	0.0119	1.33	0.028
Su stresi	2	8.1148	4.0574	509.75	<0.0001
BlokxSu stresi	4	0.0318	0.0079	0.89	0.480
Orijinler	10	0.2727	0.0272	3.04	0.006
Su stresixOrijin	20	0.2536	0.0126	1.41	0.173
Hata	40	0.3592	0.0089		

Çizelge 4.18. Su stresi ve orijinlerin boy artım yüzdesine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Table 4.18. Effects of water stress and origins on height growth percentage according to variance analysis results

Varyasyon Kaynağı Source of Variation	Serbestlik Derecesi Degree of freedom	Kareler Toplamı Sum of Squares	Kareler Ortalaması Mean squares	F	P
Tekrar	2	2.0245	0.0122	1.40	0.026
Su stresi	2	2.169	1.0844	123.93	<0.0001
TekrarxSu stresi	4	0.0745	0.0186	2.13	0.09
Orijinler	10	0.4043	0.0404	4.62	0.009
Su stresixOrijin	20	0.2892	0.0144	1.65	0.087
Hata	40	0.3500	0.0087		

Su stresi fidanların boy artım yüzdesini azaltmıştır. Kontrol grubundaki fidanlar bir vejetasyon döneminde boylarını vejetasyon dönemi başındaki boylarına kıyasla %96 oranında arttırmıştır. Bu boy artım yüzdesi orta düzeyde su stresine tabi tutulan fidanlarda %72 ve şiddetli su stresi altındaki fidanlarda ise %61 olmuştur. Buna göre Anadolu karaçamı'nda uygulanan su stresi boy artım yüzdesinde %35'e varan oranda kayıplara neden olmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Az (Kontrol), orta ve şiddetli su stresi uygulanan fidanların deneme sonundaki görünümü

Figure 4.2. A view of low (control), medium and severe stressed seedlings at the end of experiment period.

Orijinler arasındaki boy artım yüzdesi bakımından farklılaşmayı ortaya koymak amacıyla yapılan Duncan testi sonucu ve orijinlerin her bir su stresi düzeyindeki boy artım yüzdeleri çizelge 4.19’de verilmiştir. Duncan testi sonucunda Kızılcahamam orijini boy artım yüzdesi bakımından %91’lik artımla ilk sırayı almış, Yılanlı ise %65’lik boy artım yüzdesiyle son sırada yer almıştır.

Çizelge 4.19. Farklı su stresi koşullarındaki fidanların boy artım yüzdeleri ve Duncan testi sonuçları

Table 4.19. Height growth percentage of seedlings under different water stress conditions and Duncan test results

Orijinler Origins	Su Stresi Düzeyleri (bar) Water Stress Levels (bar)			
	Az (Kontrol) Control	Orta Moderate	Şiddetli Severe	Ortalama Average
K.hamam-Soğuksu	110	81	81	91 a
Denizli-Kocabaş	103	73	68	82 b
Tavşanlı-Balköy	111	76	55	81 b
Balıkesir-Korucu	99	79	55	78 bc
Mengen-Daren	106	68	61	78 bc
Andırın-Akifiye	86	74	67	76 bc
M.K. Paşa-Burhandağı	96	76	53	75 bc
Afyon-Hocalar	96	73	53	74 bcd
Göksun-B. çamurlu	90	67	63	73 bcd
Göhlisar-Göhlisar	82	71	56	70 cd
Yılanlı-Yılanlı	81	57	56	65 d
Ortalama Average	96 A	72 B	61 C	76

Fidanların uygulanan farklı su stresi düzeylerinde fotosentetik aktiviteleri (F_v/F_m) ölçülmüştür. Su stresi düzeyi ve orijin faktörlerinin fidanların fotosentetik verimliliğe etkisini araştırmak üzere yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; su stresi düzeylerinin $P<0.001$ düzeyinde etkisinin olduğu, fakat orijin etkisinin ve orijin ile su stresi etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Kontrol grubunda 0.832 olan klorofil floresans değeri orta ve şiddetli su stresi uygulaması sonucunda sırasıyla 0.702 ve 0.571'e düşmüştür. Duncan testi sonuçları ise üç su stresi düzeyinin de birbirinden istatistiksel anlamda farklı olduğunu göstermiştir.

Uygulanan az (kontrol), orta ve şiddetli su stresi sonucunda orijinlerin sahip olduğu morfolojik özellikler ve fotosentetik verimlilik düzeyleri Çizelge 4.20, 4.21, 4.22'de verilmiştir. Bu çizelgeler birlikte değerlendirildiğinde uygulanan su stresinin ölçülen tüm morfolojik ve fizyolojik özellikleri etkileyerek azalttığı görülmektedir. Kontrol grubunda fidan boyu 38.9 cm olurken orta ve şiddetli düzeyde su stresi uygulanan fidan grubunun boyları 25.4 ve 25.6 cm olmuştur. Buna göre orta şiddetteki su stresi (10 bar) Anadolu karaçamı fidanlarının boy artımında 13.5 cm yani %35'lik boy artımı kaybına neden olmuştur. Kontrol grubu ile orta şiddette

su stresi uygulanan grup arasındaki morfolojik özellikler bakımından farklar belirgindir. Ancak orta ile şiddetli su stresi koşulları altında yetiştirilen fidanlar arasında boy bakımından fark neredeyse yoktur. Ancak fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) artan su stresine paralel bir azalış göstermiştir. Kurağa dayanıklılığın bir göstergesi olarak kabul edilen GKA/KKA oranı artan su stresine paralel olarak azalmıştır. Yani dikim alanında fidanların yararlanabilecekleri su miktarı azaldıkça fidanlar morfolojik bir düzenlemeye gitmektedir. Bu düzenlemede suyun harcıyıcısı durumundaki gövde büyümesi azaltılmakta buna karşın suyun topraktan alınmasını sağlayan kökün büyümesi arttırılmaktadır. Kontrol gurubunda 2.9 olan GKA/KKA oran değeri orta şiddette stres uygulanan fidanlarda yaklaşık %50 oranında azalarak 2.0 olmuştur. Bu GKA/KKA oran değerinde azalış Anadolu karaçamı'nda kurağa uyum mekanizmasının bir yolu olduğunu işaret etmektedir.

Az şiddette su stresi (kontrol) uygulanan fidanlar incelendiğinde, orijinler arasında KBÇ, KTA, GKA/KKA ve F_v/F_m değeri bakımından anlamlı fark yoktur (çizelge 4.20). Su kıtlığı yaşanmayan bu sulama rejiminde en uzun boylu orijin M. K. Paşa olmuştur. Yine KTA bakımından da bu orijin Balıkesir ile birlikte ilk sırada yer almaktadır. Bu bulgu M. K. Paşa orijininin su sıkıntısı olmayan yetişme ortamlarında diğer stres faktörleri dikkate alınmadığında, çalışmada kullanılan diğer orijinlere kıyasla daha iyi büyüme performansı gösterdiğini işaret etmektedir.

Çizelge 4. 20. Kontrol grubunda (5 bar su stresi) ölçülen morfolojik özellikler ve F_v/F_m değerleri ile varyans analizi sonuçları

Table 4. 20. Some morphological and F_v/F_m of origins under low water stress (control, 5 bar) and result of variance analysis (ANOVA)

Orijinler	FB	KBC	GTA	KTA	GKA	KKA	GKA/KKA	F_v/F_m
K.hamam	39.524 bc	10.181	58.405 abc	18.405	23.10 bcd	8.128 abc	2.91	0.837
Tavşanlı	37.524 cd	10.185	59.719 abc	19.081	23.20 bcd	8.061 abc	3.00	0.828
Afyon	39.071 bcd	9.961	61.490 abc	21.724	27.17 abc	9.576 a	2.67	0.823
Andırın	38.876 bcd	9.833	54.629 bc	17.295	21.15 dc	7.609 bc	2.82	0.829
M. K. Paşa	44.19 a	10.652	69.019 a	21.357	26.98 ab	9.123 ab	3.04	0.838
Yılanlı	34.81 d	9.428	52.957 bc	18.219	20.88 dc	7.457 c	2.97	0.837
Balıkesir	42.381 ab	10.119	70.305 a	21.457	29.52 a	9.614 a	3.14	0.831
Denizli	39.31 bcd	10.257	64.000 abc	20.076	25.61 abc	9.138 ab	2.89	0.822
Göhlisar	37.524 cd	9.733	53.919 bc	17.424	22.37 dc	7.609 bc	2.99	0.840
Mengen	38.333 bcd	9.371	58.481 abc	20.162	24.60 bcd	9.000 abc	2.85	0.830
Göksun	36.624 cd	9.709	49.138 abc	18.076	20.11 d	7.852 bc	2.63	0.836
Ortalama	38.9	9.9	59.3	19.4	24.1	8.5	2.9	0.832
F Değeri	3.53	1.43	3.33	1.81	3.71	2.79	2.14	0.40
P Değeri	0.0065	0.2300 ns	0.0090 ns	0.1186	0.0049	0.0214	0.0654 ns	0.9300 ns

FB: Fidan Boyu, **KBC:** Kök boğazı çapı, **GTA:** Gövde taze ağırlığı, **KTA:** Kök taze ağırlığı, **GKA:** Gövde kuru ağırlığı, **KKA:** Kök kuru ağırlığı, **F_v/F_m :** Fotosentetik verimlilik

Çizelge 4. 21. Orta şiddette su stresi (10 bar su stresi) uygulanan grupta ölçülen morfolojik özellikler, F_v/F_m ve varyans analizi sonuçları

Table 4. 21. Some morphological and F_v/F_m of origins under Moderate water stress (10 bar) and results of variance analysis (ANOVA)

Orijinler	FB	KBÇ	GTA	KTA	GKA	KKA	GKA/KKA	F_v/F_m
K.hamam	21.952 e	7.304 abc	22.100 d	12.724 abc	8.34 b	5.085 abcd	1.63 d	0.629
Tavşanlı	24.952 bcde	7.795 abc	25.548 bcd	13.029 abc	9.70 b	5.557 abcd	1.78 bcd	0.705
Afyon	25.762 abcd	7.438 abc	24.943 bcd	11.852 abc	9.52 b	4.961 abcd	1.97 abcd	0.731
Andırın	27.619 abc	7.366 abc	24.267 cd	10.576 c	8.16 b	4.195 d	2.01 abc	0.727
M. K. Paşa	28.048 ab	8.242 a	33.310 a	15.367 a	13.50 a	6.342 a	2.22 a	0.685
Yılanlı	22.381 e	7.038 c	19.729 d	10.871 bc	7.62 b	4.500 bcd	1.70 cd	0.743
Balıkesir	28.714 a	8.100 ab	30.762 ab	14.457 ab	12.41 a	6.042 ab	2.10 ab	0.665
Denizli	24.857 bcde	8.085 ab	31.424 ab	13.971 abc	12.73 a	5.747 abc	2.28 a	0.691
Göhlhisar	24.619 cde	7.142 bc	21.267 d	10.271 c	8.12 b	4.161 d	2.05 abc	0.697
Mengen	23.857 de	7.047 c	22.181 d	12.743 abc	8.66 b	4.928 abcd	2.00 abcd	0.686
Göksun	26.667 abcd	7.023 c	24.357 cd	10.595 c	9.19 b	4.504 bcd	2.11 ab	0.763
Ortalama	25.4	7.5	25.4	12.4	9.8	5.1	2.0	0.702
F Değeri	4.76	2.38	4.29	2.37	5.92	2.25	3.04	1.54
P Değeri	0.0011	0.0431	0.0021	0.0441	0.0003	0.0342	0.0141	0.1905ns

FB: Fidan Boyu, **KBÇ:** Kök boğazı çapı, **GTA:** Gövde taze ağırlığı, **KTA:** Kök taze ağırlığı, **GKA:** Gövde kuru ağırlığı, **KKA:** Kök kuru ağırlığı, **F_v/F_m :** Fotosentetik verimlilik

Çizelge 4. 22. Şiddetli su stresi (20 bar su stresi) uygulanan grupta ölçülen morfolojik özellikler, F_v/F_m ve varyans analizi sonuçları

Table 4. 22. Some morphological and F_v/F_m of origins under severe water stress (20 bar) and results of variance analysis (ANOVA).

Orijinler	FB	KBC	GTA	KTA	GKA	KKA	GKA/KKA	F_v/F_m
K.hamam	23.952 bcd	7.452	19.833	12.595	7.39	4.404	1.70	0.511
Tavşanlı	24.81 abcd	7.400	21.114	12.076	7.50	4.619	1.68	0.639
Afyon	27.667 abc	7.723	25.324	13.757	8.93	4.833	1.90	0.536
Andırın	24.714 abcd	6.833	19.176	12.295	6.56	3.942	1.77	0.557
M. K. Paşa	28.143 ab	7.471	24.710	13.638	9.07	4.985	1.91	0.610
Yılanlı	22 d	7.419	20.924	13.014	8.41	4.728	1.82	0.638
Balıkesir	28.429 a	7.700	25.190	13.876	9.42	5.071	1.93	0.658
Denizli	27.048 abc	7.590	24.748	12.386	9.60	5.023	1.94	0.491
Göhlhisar	23.857 dc	7.181	19.762	10.048	7.59	4.157	1.83	0.538
Mengen	24.952 abcd	7.242	20.067	9.876	7.85	4.023	2.01	0.555
Göksun	25.857 abcd	7.114	17.824	8.933	6.62	3.633	1.91	0.551
Ortalama	25.6	7.4	21.7	12.0	8.1	4.5	1.9	0.571
F Değeri	2.61	1.01	1.84	1.79	1.91	1.82	1.00	0.870
P Değeri	0.0292	0.4623	0.1129	0.1228	0.0983	0.1168	0.4761	0.5689

FB: Fidan Boyu, **KBC:** Kök boğazı çapı, **GTA:** Gövde taze ağırlığı, **KTA:** Kök taze ağırlığı, **GKA:** Gövde kuru ağırlığı, **KKA:** Kök kuru ağırlığı, **F_v/F_m** : Fotosentetik verimlilik

Çizelge 4.21 incelendiğinde orta şiddette su stresi uygulaması yapılan grupta F_v/F_m bakımından orijinler arasında fark olmadığı görülmektedir. Bu sulama rejiminde orijinler arasında, incelenen tüm morfolojik özellikler bakımından anlamlı farklar bulunmuştur. Uygulanan sulamada da M.K. Paşa orijinin tüm morfolojik özellikler bakımından ilk sırada yer alması dikkat çekicidir.

Şiddetli su stresi koşulları altında ise sadece fidan boyu bakımından orijinler arasında farklılık belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Şiddetli su stresi koşulları altında da M. K. Paşa ve Balıkesir orijinleri en büyük boya sahip olan orijinlerdir. M.K. Paşa orijinin kontrol grubunda olduğu gibi yüksek su stresi koşulları altında da diğer orijinlere kıyasla uzun boya ve ağırlık değerlerine sahip olup stabilite göstermesi bu orijinin plastisitesinin yüksekliğini de göstermektedir.

Yapılan korelasyon analizi sonucunda (Çizelge 4.23) morfolojik özellikler ile fotosentetik verimlilik arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. Buda fizyolojik özelliklerin morfolojiden bağımsız olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 4.23. Kontrol grubunda (üstteki koyu renkli korelasyon matrisi) ve şiddetli su stresi (20 bar) uygulanan grupta (alttaki açık renkli korelasyon matrisi) ölçülen morfolojik özellikler ve fotosentetik verimlilik arasındaki korelasyon katsayıları

Table 4.23. Correlation coefficients among some morphological characteristics and F_v/F_m under low (Upper triangle, bold numbers) and severe drought stress (lover triangle, numbers in italic)

	FB	KBÇ	GKA	KKA	GKA/KKA	F_v/F_m
FB	1.000	0.516 ***	0.672 ***	0.502 ***	0.090 ns	-0.068 ns
KBÇ	<i>0.248</i> ***	1.000	0.684 ***	0.584 ***	-0.033 ns	-0.108 ns
GKA	<i>0.528</i> ***	<i>0.721</i> ***	1.000	0.784 ***	0.122 ns	-0.052 ns
KKA	<i>0.318</i> ***	<i>0.719</i> ***	<i>0.764</i> ***	1.000	-0.525 ***	-0.114 ns
GKA/KKA	<i>0.281</i> ***	<i>-0.046</i> ns	<i>0.290</i> ***	<i>-0.538</i> ***	1.000	0.081 ns
F_v/F_m	<i>-0.003</i> ns	<i>-0.16</i> ns	<i>-0.035</i> ns	<i>-0.058</i> ns	<i>0.008</i> ns	1.000

ns=anlamlı değil; *** p<0.001 olasılık düzeyinde anlamlı

5. TARTIŞMA

5.1. Don Testlerinde Kullanılan Sıcaklık ve Orijinlerde Oluşan Zarar İlişkisi

5.1.1. Kışın yapılan don testlerinde sıcaklık ve orijinlerde oluşan zarar ilişkisi

Kışın yapılan dona dayanıklılık testlerinin sonuçları, kışın uygulanan donma sıcaklıkları ile Anadolu karaçamı yapraklarının yaralanma indeksleri, fotosentetik verimlilikleri arasında anlamlı ve kuvvetli ilişki olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.1). Klorofil floresans ve iyon sızması yöntemleri, oluşan zarar miktarını belirleyen iki farklı yöntem olup, aralarında kuvvetli bir korelasyon ($r = -0.806$) bulunmuştur. Bulunan anlamlı kuvvetli ilişki bu iki parametrenin, düşük sıcaklığın oluşturduğu zararın belirlenmesinde güvenle kullanılabilceğini göstermektedir. Benzer şekilde, *Pseudotsuga menziesii*'de Ekim-Mart aralığında her ay dona dayanıklılık testleri yapılmış ve sonuçta zararın belirlenmesi yöntemleri olan iyon sızması ile klorofil floresans arasında, aylara göre değişmekle birlikte, yüksek korelasyonlar ($r^2 = 0.82-0.98$) bulunmuştur (FISKER ve ark. 1995). MENA-PETITE ve ark. (2003) *Pinus radiata*'da yaptıkları çalışmada da iyon sızması ile klorofil floresans arasında kuvvetli korelasyon ($r = 0.959$) bulmuşlardır. F_v/F_m , iyon sızıntısı ile iyi bir korelasyon gösterdiği gibi, dona dayanıklılık çalışmalarında görsel değerlendirme yöntemiyle belirlenen yaralanma miktarıyla da iyi bir korelasyon gösterir. Örneğin F_v/F_m ile görsel değerlendirme yöntemiyle belirlenen yaralanma miktarı arasında LINDGREN ve HALLGREN (1993) *Pinus sylvestris* ($r^2 = 0.92$) ve *Pinus contorta* ($r^2 = 0.95$)'da; BINDER VE FIELDER (1996) *Picea abies* ($r^2 = 0.99$)'de ve KANDEMİR (2002) *Pinus brutia* ($r^2 = -0.62$) türlerinde çok güçlü korelasyonlar bulmuşlardır. İyon sızması yöntemi fidanlardan dokunun kesilmesini gerektirir ve uzun zaman alan bir yöntemdir. Oysa Klorofil floresans ölçümü, ölçümün yapıldığı dokuya zarar vermez ve kısa sürede sonuç alınır, sadece kullanılan cihazın bir maliyeti vardır. Klorofil floresans yöntemi düşük maliyetli, hızlı ve bitkiye zarar vermeyen bir ölçüm metodu olduğundan, Anadolu karaçamı'nda don zararını belirlemede güvenle kullanılabilir.

Serbest radikallerin (süperoksit, singlet oksijen, hidrojen peroksit, hidroksil radikali vb.) ilk hedefleri, membran lipidlerindeki doymamış yağlardır. Membranlardaki doymamış bağlar, serbest radikallerle reaksiyona girerek peroksit oluştururlar. Peroksidasyon, membran akıcılığında kayba neden olur ve potansiyel olarak hücrel lizis ile sonuçlanır (KAVAS 1990). Lipid peroksidasyonu, organizmada oluşan kuvvetli yükseltgen bir radikalın membran yapısında bulunan yağ asidi zincirindeki metilen gruplarından bir

hidrojen atomu uzaklaştırmasıyla başlamaktadır. Lipid peroksidasyonu, lipid hidroperoksidlerinin aldehit ve diğer karbonil bileşiklerine dönüşmesiyle sona ermektedir. Bu bileşiklerden birisi olan MDA (malondialdehit) miktarının ölçülmesi, lipid peroksit düzeylerinin saptanmasında sıklıkla kullanılmaktadır (OHKAWA ve ark. 1979). Bitki hücreleri için lipid peroksidasyonu, sıkça kullanılan bir stres indikatörüdür (TAULAVUORI ve ark. 2001). Anadolu karaçamı'nda uygulanan düşük sıcaklık stresinde de sıcaklık azaldıkça, artan zarar miktarına paralel olarak, MDA'nın artması beklenebilir. Ancak Anadolu karaçamı ile yapılan bu çalışmada, yaralanmanın artışına paralel bir MDA sentezi artışı görülmemiştir. Anadolu karaçamı'nda düşük sıcaklık etkisiyle oluşan yaralanmalara paralel olarak lipid peroksidasyonunda artış görülmemesinin iki nedeni olabilir: Birincisi Anadolu karaçamı'nda düşük sıcaklık etkisinde MDA gerçekten sentezlenmemiş olabilir. İkincisi ise, MDA sentezlenmiş ancak spektrofotometrik olarak okunamamış olabilir. TAULAVUORI ve ark. (2001)'nin yapmış olduğu çalışmada da, antosiyanin ve karbohidratların MDA'nın ölçülmesinde maske etkisi yaptığı ve spektrofotometrik olarak 532 nm'deki ölçümünde hatalara neden olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle de MDA'nın bitki dokularında doğru bir şekilde ölçülebilmesi için ölçümlerin aktif büyüme halindeki bitkilerde yapılmasını önermişlerdir. Sayılan nedenlerden dolayı, Anadolu karaçamı'nda düşük sıcaklıklar nedeniyle hücre membranlarında oluşan zararın belirlenmesi için MDA'nın iyi bir gösterge olmadığı söylenebilir.

Kışın yapılan dona dayanıklılık testlerinde, farklı orijinlere ait fidanlar -20, -25, -30 ve -40 °C sıcaklık kademelerinde dondurulmuşlardır. Fidanlar -20 °C'lik düşük sıcaklık düzeyinde neredeyse hiç zarar görmezken (yaralanma indeksi %2), sıcaklık azalışına devam edilince, yaralanma indeksi artmış ve -25 °C'de yaralanma indeksi %59 civarında olmuştur (Çizelge 4.3). Bu artış, bitkilerde stresin şiddeti ve süresi arttıkça oluşan zararın arttığı genel bilgisine uygundur (LEVITT 1980; KACAR 2002).

Yapılan bu çalışmada Anadolu karaçamı'nda -25 °C'de yaralanma indeksinin %59 olması, LARSEN ve SUNER (1986)'in Pirene karaçamı, Korsika karaçamı ve bazı Anadolu karaçamı orijinlerini kullanarak yaptıkları çalışmanın sonuçlarıyla da örtüşmektedir. Sözü edilen çalışmada farklı aylarda fidanların %50'si ölünceye kadar fidanları dondurmuşlardır. Şubat ayında yaptıkları dona dayanıklılık çalışmasında kullanılan Anadolu karaçamı fidanlarının, orijinine göre değişmekle birlikte, -15.9 ile -27.3 °C arasındaki sıcaklıklarda %50'sinin öldüğünü belirlemişlerdir. Yine SUTINEN ve ark. (1992) iyon sızıntısı yöntemini kullanarak Avusturya

karaçamı'nda yaptıkları çalışmada mart ayında -20 ile -25 °C'den itibaren iyon sızıntısının arttığını belirtmişlerdir.

F_v/F_m değeri ağaçlarda oluşan don ve hava kirliliği gibi streslerin oluşturdukları zararın teşhisinde kullanılan bir parametredir (MOHAMMED ve ark. 1995). Klorofil a floresansı, toplam absorblanan ışığın sadece %1 veya 2'si kadar çok küçük bir kısmını oluşturur ve fazla fotosentetik enerjinin, ışık olarak geri salınımıdır (MAXWELL ve JOHANSON 2000). Karanlığa adapte edilmiş yapraklardan salınan bu floresans, fotosentetik organlara gönderilen doyurucu ışığın geçici olarak fazla uyarılmasından kaynaklanır. Bu floresans emisyonunun kapasitesi, fotosentetik verimlilik ile yani ışık miktarı ile oluşan fotosentetik ürün (genelde oksijen) ile doğru orantılıdır (PERCIVAL ve FRASER 2001). Bu bakımdan sağlıklı bir bitkide değişken floresansın maksimum floresansa oranı (F_v/F_m) 0.832 civarındadır. Bu değer fotosentetik verimlilik azaldıkça 0'a doğru yaklaşır (PERCIVAL ve FRASER 2001). Anadolu karaçamı'nda da düşük sıcaklığa maruz bırakılmayan fidanlarda 0.861 ve -40 °C'lik düşük sıcaklık uygulanan fidanlarda 0.200 F_v/F_m değerleri ölçülmüştür. Kontrol grubu (0.861) ile -20 °C'de (0.812) ölçülen F_v/F_m değerleri arasında fark olmayışı ve -25 °C'lik düşük sıcaklıkta bu değer aniden yarı yarıya azalması ve 0.406 olarak ölçülmesi, fotosentetik zararın -20 ile -25 °C arasında başladığını göstermektedir. Bu sonuç yaralanma indeksi bulgularıyla da örtüşmektedir. Yaralanma indeksi sonuçları ve fotosentetik verimlilik göz önüne alındığında, Anadolu karaçamı'nda kışın yaprak hücrelerinin membran sistemlerindeki ciddi anlamda yaralanmanın ve fotosentetik zararın, -20 ile -25 °C arasında başladığı görülmektedir. Kullanılan Karaçam orijinlerinin de -20 °C'ye kadar zarar görmeden dayanabildiği görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları ve daha önceden yapılmış olan diğer iki çalışmada (LARSEN ve SUNER 1986; SUTINEN ve ark. 1992), kışın Karaçam'da önemli don zararının başladığı düşük sıcaklık değerinin veya populasyonlarının yarısının öldüğü düşük sıcaklık derecesi (LT_{50}) değerinin -20 ile -25 °C arasında olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada kışın yapılan dona dayanıklılık testlerinin sonuçlarına göre, yaralanma indeksi bakımından Anadolu karaçamı'nın orijinleri arasında anlamlı farklar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Farklı yöntemler kullanılarak Anadolu karaçamı'nda LARSEN ve SUNER (1986) tarafından yapılan çalışmada da dona dayanıklılık bakımından Anadolu karaçamı orijinleri arasında varyasyon olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda da benzer şekilde dona dayanıklılık bakımından orijinler arasında farklılıklar olduğu belirlenmiştir (REHFELDT 1986; THOMAS ve

LESTER 1992; AITKEN ve ADAMS 1996; AITKEN ve ADAMS 1997; BEUKER 1998; KANDEMİR 2002; LU ve ark. 2003).

Anadolu karaçamı'nın orijinleri arasında görülen dona dayanıklılık farkının oluşmasında orijinlerin yayılış gösterdikleri alanda hâkim olan iklimin, özellikle iklim elemanlarından en düşük sıcaklığın, etkili olduğu yapılan korelasyon analizleri sonucunda belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Anadolu karaçamı'nın geniş bir yayılış alanına sahip olması ve rüzgârla tozlaşması, farklı populasyonları arasında fizyolojik ve morfolojik özellikler bakımından varyasyonlar olabileceğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. ALPTEKİN (1986) tarafından Anadolu karaçamı'nda yapılan coğrafik varyasyon çalışmasında, morfolojik bakımdan populasyonlar arasında farklar bulunmuş olması, bu alttür içindeki populasyonlar arasında fizyolojik (kurağa, dona dayanıklılık vb.) farkların da olabileceğini düşündürmektedir. Nitekim yapılan bu çalışma, bu alttürün farklı populasyonları arasında don ve kurağa dayanıklılık bakımından da farklar olduğu ortaya konmuştur.

Dona dayanıklılık testleri sonrasında oluşan zararın ölçülmesinde kullanılan Yaralanma indeksi ve Fotosentetik verimlilik ölçümü yöntemlerinin her ikisi de; Andırın, Göksun ve Mengen orijinlerinin, çalışmada kullanılan diğer orijinlere kıyasla dona daha dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur. Balıkesir ve Mustafa Kemal Paşa orijinleri ise her iki yöntemde de dona diğer orijinlerden daha duyarlı çıkmışlardır. Dona dayanıklı olduğu belirlenen Andırın ve Göksun orijinleri, Güneydoğu Akdeniz'de, Mengen ise Karadeniz'dedir. Dona dayanıklı olduğu belirlenen bu orijinlerin sahile yakın oldukları söylenebilir. Bu durum, sahil orijinlerinin iç bölge (karasal) orijinlerinden dona daha az dayanıklı olduğu genel görüşüne uygun değil gibi görünmektedir. Andırın, Göksun ve Bolu orijinleri her ne kadar Kızılcahamam veya Afyon gibi orijinlere kıyasla, mesafe olarak, sahile daha yakın olsalar da, bu alanlarda daha şiddetli soğukların yaşanmakta olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Nitekim Kızılcahamam ve Afyon orijinlerinin geldikleri yörede karşılaştıkları en düşük sıcaklıklar -22.8 ve -19.4 °C olup, Andırın ve Göksun orijinleri ise -33.5 °C'lik düşük sıcaklıklarla karşılaşmaktadırlar (Çizelge 3.1).

Bu çalışmada kullanılan Yılanlı, Kızılcahamam, Denizli ve Mustafa Kemal Paşa orijinleri LARSEN ve SUNER (1986)'in çalışmasında da kullanılmıştır. LARSEN ve SUNER (1986) çalışmalarında 21 Şubat'ta yaptıkları kış donlarına dayanıklılık testinde; Yenice orijininin dona orta derecede hassas olduğunu, diğer Türk orijinlerinin özellikle, Anadolu'nun iç kesimlerine düşen orijinlerin yüksek derecede dona dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacıların sonuçları bizim çalışmamızın sonuçları

ile örtüşmemektedir. Çünkü çalışmamızda dayanıklı bulunan Andırın, Mengen ve Göksun orijinleri Anadolu'nun iç kesimlerine ait orijinler değildir. Bizim sonuçlarımız ile LARSEN ve SUNER (1986)'in sonuçları arasındaki farklılıkların nedenlerinden birisi, kullanılan yöntemlerin farklı olması olabilir. Yine LARSEN ve SUNER (1986)'in çalışmasında kışın hesaplanan popülasyonlarının yarısının öldüğü düşük sıcaklık derecesi (LT_{50}) değerleri Anadolu'nun iç kesimine bakan orijin olarak sayılan Kızılcahamam orijini için $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve Beynam için $-25.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bunun yanı sıra sahil etkisindeki Muğla'nın $-25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, İzmir'in $-24.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik LT_{50} değerine sahip olduğunu belirtmektedir. Fakat Muğla ve İzmir sahil orijinleri olmasına rağmen bu iki orijinlerin popülasyonlarının yarısının öldüğü düşük sıcaklık derecesi hemen iç kesim orijinleri olan Kızılcahamam ve Beynam'la aynıdır.

5.1.2. İlkbaharda yapılan don testlerinde sıcaklık ve orijinlerde oluşan zarar ilişkisi

İlkbahar mevsiminde yapılan dona dayanıklılık testlerinde uygulanan düşük sıcaklığın şiddeti ile Anadolu karaçamı yapraklarının yaralanma indeksleri, fotosentetik verimlilikleri arasında kuvvetli-anlamli ilişki olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Dondurulan fidanlarda ölçülen maksimum floresans ile uygulanan düşük sıcaklığın şiddeti arasında ise zayıf bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan düşük sıcaklık ile zarar nedeniyle oluşan MDA miktarı arasında, kışın yapılan denemelerde olduğu gibi, anlamlı korelasyon bulunamamıştır. Bu mevsimde de anlamlı korelasyonun bulunamamış olması uygulanan düşük sıcaklıklar sonucunda oluşan zararın belirlenmesi için MDA'nın, iyi bir gösterge olmadığını ortaya koymuştur.

Bu çalışmada yaralanma indeksi ölçümleri (I_t) ve F_v/F_m parametresi ilkbahardaki don zararının -3 ile $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında başladığını göstermiştir. LARSEN ve SUNER (1986) Pirene karaçamı, Korsika karaçamı ve bazı Anadolu karaçamı orijinlerini kullanarak beş farklı tarihte dona dayanıklılık testleri yapmışlar ve orijinlere göre değişmekle birlikte fidanların nisan ayında -8.0 ile $-10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında önemli düzeyde zarar gördüğünü belirlemişlerdir. Araştırmacıların nisan ayı için belirlemiş oldukları dona dayanıklılık düzeyleri bu çalışmada kullanılan yöntemden farklı bir yöntemle belirlenmiş olmasına rağmen bu çalışmada bulunan değerlere (Nisan'da -3 ile $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında) oldukça yakındır.

Anadolu karaçamı'nda yapılan bu çalışma sonucunda dona dayanıklılık bakımından orijinler arasında kışın farklılık olduğu, ilkbaharda ise olmadığı belirlenmiştir. LARSEN ve SUNER (1986)'in çalışmalarında da benzer sonuca ulaşılmıştır. Yazarlar orijinler arasında dona dayanıklılık

bakımından 21 Şubat'ta fark olduğunu, 24 Nisan'da ise fark olmadığını belirlemişlerdir. Anadolu karaçamı'nda yaptığımız çalışmayı destekler şekilde BEUKER ve ark. (1998), *Pinus sylvestris* ve *Picea abies* türlerinde kışın orijinler arasında dona dayanıklılık farkı olduğunu, ilkbaharda ise orijinler arasında dona dayanıklılık farkı olmadığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde *Picea sitchensis*, *Pinus sylvestris* ve *Pinus radiata* türlerinde de orijinler arasında kışın dona dayanıklılık bakımından fark bulunurken, ilkbaharda bulunmamıştır (CANNEL ve SHEPPARD 1982; REPO 2001; GREER ve ark. 2001). Orijinler arasında kışın dona dayanıklılık farkının olup ilkbaharda ise olmayışındaki en önemli faktör, kışın fidanların dormant (uyku) halde oluşudur. Zira don zararı da dahil olmak üzere bir çok stres etmenine karşı ağaç türleri dormansi döneminde direnç gösterebilmektedir. Aktif büyüme döneminde (ilkbahar ve yaz) ise dona dayanıklılık en düşük düzeydedir.

5.2. Orijinlerin Su Stresine Dayanıklılıkları

5.2.1. Orijinlerde su stresi çimlenme ilişkisi

Artan su stresinin, Anadolu karaçamı'nın 11 orijininin oransal çimlenme yüzdelerini azalttığı görülmüştür (Çizelge 4.14). Su miktarının en fazla dolayısıyla alımının da en kolay olduğu 0 bar su stresi koşullarında en yüksek oranda çimlenme olurken, çimlenme ortamında bulunan su miktarının azalışına paralel olarak çimlenme miktarı da azalmıştır. Benzer şekilde Halepçamı (FALUSI ve ark. 1983), Kızılçam (BOYDAK ve ark. 2003), Toros sediri (DİRİK 2000), Sarıçam (TİLKİ 2005) ve Anadolu karaçamı'nda (ÇALIKOĞLU 2002) artan su stresinin çimlenme oranını azalttığı görülmüştür. Bu bulgular ekim yastıklarında veya doğal gençleştirme alanlarında su alımı kısıtlandıkça çimlenmenin azalacağı genel bilgisine uygundur. Çoğunluğu bu çalışma ile aynı olan 8 adet orijini kullanarak ÇALIKOĞLU (2002)'nin yapmış olduğu çalışmada, su stresi artışına bağlı oluşan oransal çimlenme azalışı çalışmamızdakinden daha az olmuştur. Şöyle ki ÇALIKOĞLU'nun bulgularına göre 0, -2, -4, -6 ve -8 bar işlemlerinde sırasıyla oransal çimlenme yüzdeleri 100, 89, 70, 59 ve 29 olmuştur. Buna karşın bu çalışmada 0, -2, -4 ve -6 bar işlemlerinde oransal çimlenme yüzdeleri sırasıyla 100, 50, 39 ve 6 olmuştur (Çizelge 4.14). 8 bar streste neredeyse tohum çimlenmeyeceği düşünülerek, bu stres kademesi çalışılmamıştır. Yapılan bu çalışmada özellikle 0 barda oransal çimlenme oranı %100 iken, az sayılabilecek bir stres uygulaması olan -2 bar'da aniden 50'ye düşmesi dikkat çekicidir. Her iki çalışmanın benzer deney koşulları ve orijinler kullanılarak yapılmış olmasına rağmen tohumların su stresi karşısında benzer davranış göstermeyişleri merak konusu olmuştur. Bu nedenle de çalışmamızda çimlendirme deneyleri tekrarlanmış, fakat ikinci

deneyin sonuçlarının da birinci deneye çok yakın olduğu görülmüştür. Farklı zamanlarda benzer deney koşulları ve orijinler kullanılarak Anadolu karaçamı'nda yapılan iki çalışma arasında çimlenme bakımından görülen büyük farkın nedeni tam olarak anlaşılamamıştır.

Yapılan varyans analizi sonucunda su stresi, orijin faktörlerinin ve su stresi ile orijinin etkileşiminin oransal çimlenme üzerinde etkili ($p < 0.001$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.15). İnteraksiyon etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olması nedeniyle her stres düzeyi için ayrı değerlendirme yapılmıştır. Buna göre 2 bar stres düzeyinde M. K. Paşa.; 4 bar stres düzeyinde M. K. Paşa.; 6 barda ise Tavşanlı, Mengen en yüksek çimlenme oranı göstermişlerdir. Bu orijinler sahil orijinleridir. Bu nedenle ÇALIKOĞLU (2002)'nin çalışmasındaki çimlendirme deneyi sonuçlarıyla bu çalışmanın bulguları uyum göstermemektedir. Şöyle ki, araştırmacı çalışmasında Kütahya, Afyon ve Nallıhan orijinlerinin çimlenme yüzdelerinin, M. K. Paşa, Kızılcahamam, Dursunbey, Zonguldak ve Muğla orijinlerine kıyasla artan su stresi karşısında daha az azaldığı bulgusuna ulaşmıştır. Bu bulgular ışığında da araştırmacı, Anadolu karaçamı'nın yağışça fakir olan bölgelerde yer alan popülasyonlarının yağış azlığının dikte ettiği yüksek su stresi koşullarında çimlenme yeteneklerini daha fazla koruyarak hayatta kalma şanslarını arttırdığı görüşünü ortaya koymuştur.

Su stresine karşı çimlenme yeteneğinde görülen orijinler arası varyasyonların nedenlerinin toprak, iklim veya başka bir neden mi olduğunu kesin bir şekilde ortaya koymak kolay değildir. Zira ÜRGENÇ (1982) ağaç türlerindeki varyasyonların bazı genel esaslara bağlı kalabileceği gibi, tesadüfi varyasyonun da söz konusu olabileceğini belirtmiştir. Böyle tesadüfi dağılım gösteren varyasyonların binlerce yıl önceki iklimik farklılıklardan kaynaklanabileceğini belirtmektedir. Bu nedenle sadece bugünkü iklimik koşullar ve toprak koşullarını dikkate alarak ağaç türünün popülasyonları arasındaki varyasyonu açıklamak mümkün olmayabilir. Bununla beraber, su stresine karşı çimlenme yeteneğinde görülen orijinler arası varyasyonların uygulamaya yansıyan birtakım sonuçlarının olacağı şüphesizdir. KARADAĞ (1999) Karaçam doğal gençleştirmelerinde, Karaçam gençliğinin ilk 2-3 yıl içerisindeki gelişmesinde nem faktörünün ışığa göre daha belirgin rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle kurağa daha dayanıklı olarak görünen orijinlerin bulunduğu yerlerde, aşırı kuraklıklara rastlayan yıllarda yapılacak doğal gençleştirme çalışmalarında daha yüksek başarı elde edilebilir. Yine su stresi koşullarında diğerlerine kıyasla daha yüksek çimlenme yüzdeleri gösteren orijinleri fidanlıklarda yetiştirmek daha kolay olacaktır. Zira bu orijinler daha az sulama maliyeti gerektirecek ve sulamalarda oluşabilecek aksaklıklardan daha az etkileneceklerdir. Kuraklık

Türkiye ormancılığının en önemli sorunlarından biridir. Bu çalışmada orijinler arası kurağa dayanıklılık farkları hem tohum aşamasında hem de fidanlık aşamasında araştırılmış ve her iki aşamanın sonuçları da benzer orijinleri işaret etmiştir.

5.2.2. Uygulanan su stresinde orijinlerin yaşama ve büyümesi arasındaki ilişki

Su stresi düzeylerinin ve orijinlerin, Anadolu karaçamı'nda fidanların yaşama yüzdesine etkisi olduğu ve su stresi ile orijin etkileşiminin olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.17). Benzer şekilde CREGG ve ZHANG (2001) çalışmalarında Sarıçam'da Ukrayna, Kazakistan ve Rusya'dan orijinleri kuraklık bakımından karşılaştırmışlar ve kuraklık koşulları altında yaşama başarısı bakımından orijinler arasında bir varyasyon olduğunu belirlemişlerdir. IŞIK ve ark. (2002) ise kuraklık koşulları altında Kızılçam'da populasyonlar arasında yaşama yüzdesi bakımından fark bulamamıştır.

Bu çalışmada orijinler arasındaki farklılaşmayı ortaya koymak amacıyla yapılan Duncan testine göre, M. K. Paşa yaşama yüzdesi bakımından ilk sırayı almış, onu Tavşanlı, Yılanlı ve Afyon orijinleri izlemiştir (Çizelge 4.16). Göksun ve Gölhisar orijinleri ise, sıralamanın en altında kalmışlar ve su stresinden en fazla etkilenen orijinler olmuşlardır. LARSEN ve SUNER (1986) çalışmalarında kullandıkları orijinlerden M. K. Paşa ve Çerkeş orijinlerinin kurağa en dayanıklı olduklarını, bunlara ilaveten biraz daha az olmak kaydıyla Yenice, Kızılcahamam, Sütçüler ve Pos orijinlerinin de dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Bu tespit de, yapılan çalışmada elde edilen bulguları büyük oranda destekler niteliktedir. Ayrıca M. K. Paşa orijini çalışmamızda tohumun çimlenme aşamasında uygulanan su stresi koşullarında da en yüksek çimlenmeyle kurağa dayanıklı bir tablo çizmiştir (Çizelge 4.14). M. K. Paşa orijini, ÇALIKOĞLU (2002) tarafından orijinlerin transpirasyon tutumu ve basınç-hacim analizlerini inceleyerek yaptığı araştırmasının sonucunda da, tek başına diğer tüm orijinlerden kurağa dayanma bakımından üstün bulunmuş ve “kuraktan sakınan-toleranslı grup” orijini olarak nitelenmiştir. Kuraklığa dayanıklılık; sakınma ve tolerans olarak iki kısma ayrılmakta, sakınmanın toleransa oranla daha iyi bir adaptasyon yeteneği olduğu kabul edilmektedir (ÇALIKOĞLU 2002). Sakınmanın, stresin bitkiye girişini engellemeye yönelik tedbirler olduğu buna karşılık tolerans yeteneğinin ise, stresin bitkiye girdikten sonra oluşan zarara rağmen hayatta kalabilme yeteneği olduğu belirtilmektedir (ÇALIKOĞLU 2002). ÇALIKOĞLU (2002) tezinde M. K. Paşa orijini ile birlikte kuraklıktan sakınma yetenekleri gelişmiş olan Kızılcahamam ve Yılanlı orijinlerinin yaz kuraklığının daha şiddetli olduğu potansiyel

alanlarda kullanılabileceğini belirtmektedir. Önceden laboratuvar koşullarında bitki parçaları kullanılarak yapılan LARSEN ve SUNER (1986)'in, ÇALIKOĞLU (2002)'nin, yapılan bu çalışmanın sonuçları ve yapılan orijin denemelerinin ortak sonucu M. K. Paşa orijinin kurağa dayanıklılık bakımından üstünlüğünü göstermiştir. Bu üstünlük kısmen araziye denemeleriyle de desteklenmiştir. Nitekim ŞİMŞEK ve ark. (1995)'de Türkiye'de karaçam orijin denemelerinin 9. yıl sonuçlarını değerlendirdikleri çalışmalarında, 36 adet orijin içerisinde M. K. Paşa orijinin İç Anadolu Bölgesi'nde en iyi boy gelişimi yapan orijin olduğunu belirlemiştir. ÇALIKOĞLU (2002) M. K. Paşa orijinin kurağa diğer orijinlere kıyasla daha dayanıklı olmasının bir nedeninin, bu orijinin sahip olduğu düşük kütikular transpirasyon yapma yeteneği olduğunu belirlemiştir. Fakat tohumun çimlenme aşamasında da M. K. Paşa orijinin yüksek çimlenme kabiliyeti göstermesi, çimlenme sırasında kütikular transpirasyondan söz edilemeyeceği için, başkaca mekanizmalarında bu orijinin kurağa dayanıklı olmasında etkili olduğunu düşündürmektedir. VELİOĞLU ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada kullanılan M. K. Paşa, Tavşanlı, Mengen ve Afyon orijinlerinden M. K. Paşa ve Tavşanlı orijinlerinin Tohum meşcereleri'nin genetik olarak en benzer populasyonlar olduklarını ortaya koymuşlardır. Bulunan genetik benzerliğin, bu çalışmada kurağa dayanıklılık bakımından bu iki orijinin en dayanıklı olmalarında bir nebze etkili olduğu düşünülebilir. Yapılacak yeni araştırmalarla bu orijinlerin kurağa diğerlerine kıyasla daha dayanıklı olmalarını sağlayan diğer mekanizmalarında aydınlatılması yararlı olacaktır.

Kurak mıntika ağaçlandırmalarında, ağaçlandırılan alanların ekstrem alanlar olduğu ve bu ağaçlandırmaların birinci amacının genel olarak üretim olmadığı düşünülürse, yaşama yüzdesi en yüksek olan orijinlerin kuraklığın etkili olan alanlarda kullanılması uygun bir yaklaşım olarak görünmektedir. Boy artım yüzdesi bakımından ise yaşama bakımından üstünlük gösteren orijinlerden sadece Tavşanlı orijini aynı zamanda kuraklık koşullarında yüksek bir boy artım yüzdesi bakımından da umut vericidir.

Bu çalışmada, uygulanan tüm su stresi koşullarında (az, orta ve şiddetli su stresi) boy artımı bakımından Anadolu karaçam'ı orijinleri arasında varyasyonlar belirlenmiştir (Çizelge 4.19). Benzer şekilde Sarıçam'da CREGG ve ZHANG (2001) Ukrayna, Kazakistan ve Rusya'dan orijinleri kuraklık bakımından karşılaştırmışlar ve kuraklık koşulları altında boy büyümesi bakımından orijinler arasında bir varyasyon olduğunu belirlemişlerdir. Yine IŞIK ve ark. (2002) Kızılcım'da su stresi koşulları altında populasyonlar arasında boy büyümesi bakımından ve başka adaptif karakterler bakımından farklar olduğunu belirlemişlerdir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

İç Anadolu Bölgesi'nde olduğu gibi, bazı ağaçlandırma alanlarında kışın don, yazın da kuraklık etkili olabilmektedir. Bu durumda böyle alanlarda hem dona, hem kurağa dayanıklı olan orijinleri kullanmak gerekmektedir. Fakat çalışmamız kurağa diğer orijinlere kıyasla daha dayanıklı oldukları belirlenen M. K. Paşa, Tavşanlı, Yılanlı ve Afyon orijinlerinin, dona hassas olduklarını ortaya koymuştur. Bu durum hem kuraklığın, hem de don olaylarının yaşandığı İç Anadolu gibi benzer alanlar için uygun orijin seçimini güçleştirmektedir. Bu nedenle İç Anadolu'da dikim alanlarının lokal iklimleri iyi etüt edilmeli, yapılan bu laboratuvar ve fidanlık çalışmalarının sonuçları orijin ve döl denmemeleri gibi çalışmaların sonuçlarıyla kombine edilerek orijin seçimine gidilmelidir.

Bugün ağaçlandırmada öncelikle yersel tohum kaynaklarını kullanmak esastır. Eğer yersel tohum kaynağı mevcut değilse, Anadolu karaçamı için, tohumların toplandıkları alanlardan ne kadar uzaktaki ağaçlandırma alanlarında kullanabileceklerini dikte eden Tohum Transfer Rejyonlaması kullanılmaktadır. ATALAY (1977) tarafından yapılan bu rejyonlamada; Türkiye'de geniş alanda yayılan Anadolu karaçamı ormanları vejetasyon periyodu ve kuraklık indisi kullanarak 10 adet ana rejyona ve vejetasyon süreleri dikkate alınarak 24 alt rejyonlara ayrılmıştır. Ana rejyonlar arası hiçbir suretle tohum transferinin yapılmaması; transferin aynı yükseklik zonları arasında yapılması, bunun mümkün olmadığı durumlarda tohum hasat yerinin ağaçlandırma yerinden en çok 300 m daha yüksekte veya 250 m daha alçakta olmak üzere, 550 m yükseklik kuşağından seçilmesi; bir alt rejyonda tohum meşçeresi olmaması halinde; vejetasyon süresi ile ayrılmış olan bitişik alt rejyonlar arasında tohum transferi yapılması önerilmektedir. Aynı alt rejyon içerisinde bile her yerde kuraklık veya don zararı aynı şiddette etkili değildir. Bu nedenle, çalışmamızda kurağa veya dona dayanıklılık bakımından üstünlük gösterdiği belirlenen orijinler, kendi bulunduğu alt rejyon içerisinde veya bitişik alt rejyonda don veya kuraklığın etkili olduğu lokal alanlarda rahatlıkla kullanılabilir. Çalışmamızda, kurağa ve dona dayanıklı olduğu belirlenen orijinlerin yayılış gösterdikleri alt rejyon veya alt rejyona komşu rejyonlar dışında kullanılabilmesi kararını vermek için henüz erkendir. Bu kararın verilebilmesi için çalışmamızın sonuçlarının yapılacak arazi çalışmaları ile desteklenmesi gerekmektedir.

Araştırmaya konu edilen orijinler arasında kışın dona dayanıklılık farkı varken, ilkbaharda bu orijinler arasında dona dayanıklılık bakımından fark yoktur. Çalışmada kullanılan 11 Karaçam orijini de kışın -20 °C'ye dayanabilmektedir. Yapılan çalışma, ilkbaharda don zararının -3 ile -7 °C

arasında, kışın ise -20 ile -25 °C arasında başladığını göstermiştir Doğu Akdeniz kökenli Andırın ve Göksun orijinleri ile Batı Karadeniz kökenli Mengen orijinleri, diğer orijinlere kıyasla kış donlarına daha dayanıklıdır. Orijinler arası dona dayanıklılık düzeyleriyle, orijinlerin yetiştirme ortamlarında var olan en düşük sıcaklıklar arasında anlamlı ve orta derecede kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Orijinin geldiği yer ne kadar soğuk bir yöre ise orijinin kış donlarına dayanıklılığı da o yönde yüksek olmaktadır.

Farklı orijinlere ait tohumlara uygulanan su stresi koşullarında elde edilen çimlenme yüzdeleri ve iki yaşındaki fidanlara uygulanan su stresinin fidanların yaşama yüzdesine ve boy büyümesine olan etkisi birlikte değerlendirildiğinde; M. K. Paşa, Tavşanlı, Yılanlı ve Afyon orijinlerinin, çalışmada kullanılan diğer orijinlere kıyasla daha yüksek yaşama başarısıyla, kurağa dayanıklılık bakımından bir üstünlük gösterdikleri söylenebilir. Fakat orijinler arasında kurağa dayanıklılık bakımından görülen varyasyonların nedenlerini sadece orijinlerin yayılış gösterdikleri alanda var olan iklim koşullarıyla açıklamak olası değildir. Bu nedenle orijinler arasında dona ve kurağa dayanıklılık bakımından var olan varyasyonların nedenlerini detaylıca ortaya koymak için anatomi, morfoloji, fizyoloji ve genetik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

ÖZET

Bu çalışmada Anadolu karaçamı'nın Kızılcahamam-Kızılcahamam, Tavşanlı-Balıköy, Afyon-Ahırdağı, Andırın-Akifiye, Mustafa Kemal Paşa-Burhandağı, Yılanlı-Yılanlı, Balıkesir-Korucu, Denizli-Kocabaş, Gölhisar-Gölhisar, Mengen-Daren ve Göksun-B.çamurlu orijinleri dona ve kurağa dayanıklılık bakımından karşılaştırılmıştır.

Dona dayanıklılık testleri sonucunda, kışın yapraklardaki hücrelerin membranlarında ölçülen önemli düzeyde don zararının -20 °C ile -25 °C arasında, ilkbaharda ise -3 °C ile -7 °C arasında başladığı belirlenmiştir. Dona dayanıklılık bakımından kışın orijinler arasında farklılıklar vardır. İlkbaharda ise orijinler arasında dona dayanıklılık bakımından fark yoktur. İyon sızıntısı ve klorofil floresans ölçümü sonuçları; Andırın, Göksun ve Mengen orijinlerinin dona daha dayanıklı olduğunu, Balıkesir ve M.K.Paşa orijinlerinin ise daha duyarlı olduğunu göstermiştir.

Çimlendirme deneyi sonuçlarına göre, su stresi düzeyi arttıkça çimlenme yüzdesinin azaldığı görülmüştür. Değişik düzeydeki su stresi koşulları altında, orijinler arasında çimlenme yüzdesi bakımından anlamlı farklar olduğu belirlenmiştir. 2 bar stres düzeyinde; M.K.Paşa, Tavşanlı ve Mengen, 4 bar stres düzeyinde M.K.Paşa, Mengen ve Yılanlı; 6 barda ise Tavşanlı, Mengen, Yılanlı, M.K.Paşa, Kızılcahamam ve Denizli orijinleri daha yüksek çimlenme oranı göstermişlerdir. M.K.Paşa orijini, her su stresi koşulunda diğer orijinlere göre daha yüksek çimlenme yüzdesi göstermiştir.

Fidanlık denemelerinde, orta şiddetli su stresi 2 yaşındaki fidanların yaşama yüzdesini %3, şiddetli su stresi ise %39 oranında azaltmıştır. Su stresi, bu çalışmada ölçülen tüm morfolojik özellikleri ve F_v/F_m oranını istatistiksel olarak anlamlı oranda etkilemiştir. Orta ve şiddetli su stresi, fidanların boy büyümelerini yaklaşık %35 oranında azaltmıştır. Su stresi koşulları altında yaşama yüzdesi ve boy artım yüzdesi bakımından orijinler arasında önemli varyasyonlar olduğu belirlenmiştir. Orta ve şiddetli düzeydeki su stresi koşullarında Mustafa Kemal Paşa, Tavşanlı, Yılanlı ve Afyon orijinleri, daha yüksek yaşama yüzdesi göstermişlerdir. Fidanlık denemelerinin sonuçları değerlendirildiğinde; Mustafa Kemal Paşa, Tavşanlı, Yılanlı ve Afyon orijinleri, bu çalışmada kuraklığa en dayanıklı orijinler olduğu belirlenmiştir. Mustafa Kemal Paşa orijini hem çimlenme aşamasında, hem de fidan aşamasında diğer orijinlere kıyasla kurağa daha dayanıklıdır.

SUMMARY

Kızılcahamam-Kızılcahamam, Tavşanlı-Balıköy, Afyon-Ahırdağı, Andırın-Akifiye, Mustafa Kemal Paşa-Burhandağı, Yılanlı-Yılanlı, Balıkesir-Korucu, Denizli-Kocabaş, Gölhisar-Gölhisar, Mengen-Daren and Göksun-B. çamurlu provenances of Anatolian black pine were used in this study. Cold and drought resistance of origins are compared.

Significant damages of cell membranes begin when the temperature is between -20°C and -25°C in winter and between -3°C and -7°C in spring. Provenance variation in cold hardiness was evident in winter but not in spring. Electrolyte leakage and chlorophyll fluorescence measurements indicated that Andırın, Göksun and Mengen provenances were more resistant than others, however, Balıkesir and M.K. Paşa origins were more sensitive to freezing than other provenances used in this experiment.

Results of germination experiments indicated that an increase in water stress produced a marked reduction in germination percentage, indicating that water stress inhibits germination. Significant variations between the provenances were found under different water stress levels. At 2 bar stress level M.K.Paşa, Tavşanlı and Mengen; at 4 bar stress level Mustafa Kemal Paşa, Mengen ve Yılanlı; at 6 bar stress level Tavşanlı, Mengen, Yılanlı, M.K.Paşa, Kızılcahamam and Denizli origins have higher germination percent than other used origins. Mustafa Kemal Paşa origin had higher germination percent than other used origins under all water stress levels. For this reason, we may say that it is the most successive origin under the water stress conditions for germination.

In the nursery experiment, moderate and severe water stress decreased about 3 and 39% in survival percentage of 2 year-old seedlings, respectively. Water stress significantly affected all morphological properties measured in this study and F_v/F_m . Moderate and severe water stress decreased about 35% in height growth of seedlings. Significant variations between the provenances were found for survival and height growth under water stress conditions. Mustafa Kemal Paşa, Tavşanlı, Yılanlı and Afyon origins had higher survival percentage than other origins used in this study under moderate and severe water stress conditions. When we evaluated the results of nursery experiment, M.K.Paşa, Tavşanlı, Yılanlı and Afyon were the most drought resistant origins in this study. Mustafa Kemal Paşa origin was more drought resistant origin not only in germination stage but also seedling stage.

KAYNAKÇA

- AITKEN, S. N., ADAMS, W. T. 1996.** Genetics of fall and winter cold hardiness of coastal Douglas-fir in Oregon, Canadian Journal of Forest Research., 26, 1828-1837.
- AITKEN, S. N., ADAMS, W. T. 1997.** Spring cold hardiness under strong genetic controlling Oregon populations of *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, Canadian Journal of Forest Research, 27, 1773-1780.
- ALPTEKİN, C. Ü. 1986.** Anadolu karaçamı'nın (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) Coğrafi Varyasyonları, Doktora Tezi, İ.Ü. Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı. İstanbul, 170s.
- ANONİM, 2006.** Orman Varlığımız, O.G.M. Yayınları. Ankara.
- ATALAY, İ. 1977.** Türkiye'de çam türlerinde tohum transfer rejyonlaması. O.A.T.I.A.M. Yayınları, Yayın No: 1, Ankara, 47s.
- BANNISTER, P., NEUNER, G. 2001.** Frost Resistance and The Distribution of Conifers. Conifer Cold Hardiness. Bigras, F. J. and Colombo, S. J. (eds.), Kluwer Academic Publishers, 3-21.
- BEUKER, E., VALTONEN, E., REPO, T. 1998.** Seasonal Variation in the Frost Hardiness of Scots Pine and Norway Spruce in Old Provenance Experiments in Finland, Forest Ecology and Management.,107, 87-98.
- BINDER, W. D., FIELDER, P. 1996.** Chlorophyll Fluorescence As An Indicator of Frost Hardiness in White Spruce Seedlings From Different Latitudes, New Forest, 11, 233-253.
- BRAY, E. A., BAILEY-SERRES, J. WERETILNYK, E. 2000.** Responses to Abiotic Stresses. In Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (eds.), American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, 1158-1203.
- BRAY, E. A. 1997.** Plant Response to Water Deficit, Trends Plant Science, 2:48-53.
- BURR, K. E., HAWKINS, C. D. B., HIRONDELLE, S. J. L., BINDER, W. D., GEORGE, F. M., REPO, T. 2001.** Methods for Measuring Cold Hardiness of Conifers. Conifer Cold Hardiness. Bigras, F. J. and Colombo, S. J. (eds.), Kluwer Academic Publishers, pp, 369-401.
- 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: Eds: R. Rose, S. J. Campbell and T. D. Landis, 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.

- BONAN, G. B., POLLARD, D., THOMPSON, S. L. 1992.** Effects of Boreal Forest Vegetation on Global Climate, *Nature.*, 359, 716-718.
- BOYDAK, M., DİRİK, H., TILKİ, F., ÇALIKOĞLU, M. 2003.** Effects of Water Stress on Germination In Six Provenances of *Pinus Brutia* Seeds From Different Bioclimatic Zones in Turkey, *Turk. J. Agric. For.*, 27: 95-97.
- CANNELL, M. G. R., SHEPPARD, L. J. 1982.** Seasonal Changes in the Frost Hardiness of Provenances of *Picea sitchensis* in Scotland. *Forestry*, vol 55, No: 2, 137-153.
- CREGG, B. M., ZHANG, J.W. 2001.** Phsiology and Morphology of *Pinus sylvestris* Seedlings 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, 99s.
- ÇELİK, O., SEMERCİ, A., ŞANLI, B., BELİNDİR, B., GEDİK, Ö. 2002.** Ankara Çevresinde Görülen Kurumaların Nedenleri, *Orman Mühendisliği Dergisi*, Mayıs 2002, Yıl:39, Sayı:5.
- DİRİK, H. 2000.** Effet Du Stress Hydrique Osmotique Sur La Germination Des Graines Chez Les Provenances De Cèdre Du Liban (*Cedrus libani* A. Rich.) D'origine Turque, *Ann. For. Sci.* 57 :361-367.
- ERUZ, E. 1984.** Balıkesir Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Saf Karaçam Meşcerelerinin Boy Gelişimi ile Bazı Edafik ve Fizyografik Özellikler Arasındaki İlişkiler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3244.
- FALUSI, M., CALAMASSI, R., TOCCI, A. 1983.** Sensitivity of Seed Germination and Seedling Root Growth to Moisture Stress iIn Four Provenances of *Pinus halepensis* Mill., *Silva Genetica*, 32, 4-9.
- FISKER, S. E., ROSE, R., HAASE, D. L. 1995.** Chlorophyll Fluorescence as a Measure of Cold Hardiness and Freezing Stress in 1+1 Douglas-Fir Seedlings, *Forest Science*, 41, 564-575.
- FLINT, H. L., BOYCE, B. K., BEATTIE, D. J. 1967.** Index of Injury- a Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determined by The Electrolytic Method, *Canadian J. Plant Sci.*, 47, 229-230.
- GLERUM, C. 1985.** Frost Hardiness of Coniferous Seedlings: Principles and Applications, *Proceedings: Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests.* Duryea, M. L. (eds.), Oregon State University, ISBN 0-87437-000-0, Corvallis.

- GREER, D. H., MENZIES, M. I., WARRINGTON, I. J. 2001.** Cold hardiness of Radiata Pine (*Pinus radiata*). Conifer Cold Hardiness. Bigras, F. J. and Colombo, S. J. (eds.), Kluwer Academic Publishers, 555-573.
- HODGES, D. M. , DELONG, J. M. , FORNEY, C. F., PRANGE, R.K. 1999.** Improving The Thiobarbituric Acid–Reactive–Substances Assay for Estimating Lipid Peroxidation in Plant Tissues Containing Anthocyanin and Other Interfering Compounds, *Planta*, 207, 604–611.
- HOPKINS, W. G. 1995.** Introduction to Plant Physiology, The University Of Western Ontario, John Wiley&Sons, Inc., New York, 464p.
- IŞIK, F., KESKİN, S., SABUNCU, R., ŞAHİN, M., BAŞ, M.N., KAYA, Z. 2002.** Kızılçam'da (*Pinus brutia* TEN.) Farklı Populasyonlara ait Fidanların Kuraklık Stresine Morfolojik ve Fenolojik Tepkileri Bakımından Genetik Çeşitlilik, B.A.O. Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 15.
- KACAR, B., KATKAT, A. V., ÖZTÜRK, Ş. 2002:** Bitki Fizyolojisi, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 198, 562s.
- KALIPSIZ, A. 1963.** Türkiye'deki Karaçam (*Pinu nigra* Arnold) Meşcerelerinin Tabii Büyümesi ve Verim Kudreti Üzerine Araştırmalar, Tarım Bakanlığı O.G.M. Yayını, Sıra No: 349, Seri No: 8.
- KANDEMİR, G. 2002.** Genetics and Physiology of Cold and Drought Resistance in Turkish Red Pine (*Pinus brutia*, Ten.) Populations From Southern Turkey, Doctoral Thesis, The Department of Biological Sciences of Middle East Technical University, Ankara, 145s.
- KARABULUT, S. 2001.** Eskişehir Yöresi Makinalı Karaçam Ağaçlandırmalarında Arazi Hazırlama Yöntemlerinin 15 Yıllık Gelişimi Üzerindeki Etkileri, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- KARADAĞ, M. 1999.** Batı Karadeniz Bölgesi'nde Karaçam (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Doğal Gençleştirme Koşulları Üzerine Araştırmalar, Batı Karadeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 4, Bolu, 226s.
- KAVAS, G. 1990.** Serbest Radikaller ve Organizma Üzerine Etkileri, Türkiye Klinikleri, 9, 1–8.
- KEATES, S. E. 1990.** Assessing Cold Hardines in Conifers: A Problem Analysis A Discussion paper: FRDA Report No:106, Victoria, 20.
- KRAMER; P. J., BOYER, J. S. 1995.** Water Relations of Plants and Soils, Academic Press, Toronto, 495p.
- KRASOWSKI, M.J., HERRING, L.J., LETCHFORD, T. 1993.** Winter Freezing Injury and Frost Acclimation in Planted Coniferous Seedlings: FRDA Report no.206, Victoria, 36p.

- KONUĞÇU, M. 2001.** Ormanlar ve Ormancılığımız, DPT yayınları no:2630, 238s.
- KOZŁOWSKI, T. T., KRAMER, P. J., PALLARDY, S. G. 1991.** The Physiological Ecology of Woody Plants, Academic Press, San Diego, 657p.
- LARCHER, W. 1995.** Physiological Plant Ecology, Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups, Springer-Verlag, Berlin, 503p.
- LARSEN, J. B., SUNER, A. 1986.** Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) Orijinleri Arasındaki Kuraklığa ve Dona Dayanma Farklılıkları, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Rapor Serisi No:30, 95-109.
- LEVITT, J. 1980.** Responses of Plants to Environmental Stresses, Vol. 1, Academic Press, New York, 497p.
- LINDEN, L. 2002.** Measuring Cold Hardiness in Woody Plants, University of Helsinki Department of Applied Biology Publication No: 10, 57p.
- LINDGREN, K., HALLGREN, J. E. 1993.** Cold acclimation of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* assessed by chlorophyll fluorescence, Tree Physiology, 13, 97-106.
- 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.
- MAXWELL, K., JOHNSON, G. N. 2000.** Chlorophyll Fluorescence A Practical Guide, Journal of Experimental Botany, 345, pp. 659-668.
- MENA-PETITE, A., ROBREDO, A., ALCALDE, S., DUNABEITIA, M. K., GONZALEZ-MORO, M. B., LACUESTA, M., MUNOZ-RUEDA, A. 2003.** Gas Exchange and chlorophyll Fluorescence Responses of *Pinus radiata* D. Don Seedlings During and After Several Storage Regimes and Their Effects on Post-Planting Survival, Trees, 17: 133-143.
- MOHAMMED, G. H., BINDER, W. D., GILLIES, S. L. 1995.** Chlorophyll Fluorescence: Applications and Instrumentation, Scand. J. For. Res., 10, 383-410.
- OHKAWA, H., OHISHII, N., YAGI, Y. 1979.** Assay of Lipid Peroxides in Animal Tissue by Thiobarbituric Acid Reaction, Anal. Biochem. 95, 51-358.
- ÖZDEMİR, Ö. L. 1980.** Türkiyenin Önemli Kurak Mıntıklarında Karçamla Ağaçlandırma Tekniğı Üzerine Bazı Denemeler, Ormancilik Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten No: 100, Ankara.
- PERCIVAL, G. C., FRASER, G. A. 2001.** Measurement of the Salinity and Freezing Tolerance of Crataegus Genotypes Using Chlorophyll Fluorescence, Journal of Arboriculture, 27(5), 233-245.
- PRASIL, I., ZAMECNIK, J. 1998.** The Use of a Conductivity Measurement Method for Assessing Freezing Injury I. Influence of Leakage

- Time, Segment Number, Size and Shape in a Sample on Evaluation of The Degree of Injury, Environmental and Experimental Botany., 40, 1-10.
- RAMBAL, S., HOFF, C. 1998.** Mediterranean Ecosystems and Fire: The Threats of Global Change. Large forest Fires. Moreno, J. M. (eds.), Backhuys, Leiden, The Netherlands, 187-213.
- REHFELDT, G. E. 1986.** Adaptive Variation in *Pinus ponderosa* From Intermountain Regions, I. Snake and Salmon River basins, Forest Science, 32, 32-79.
- REPO, T., NILSSON, J-E., RIKALA, R., RYYPPO, A., SUTINEN, M-L. 2001.** Cold Hardiness of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Conifer Cold Hardiness. Bigras, F. J. and Colombo, S. J. (eds.), Kluwer Academic Publishers, pp. 463-493.
- RICHARDSON, D.M., RUNDEL, P.W. 1998.** Ecology and Biogeography of Pinus: An Introduction. Ecology and Biogeography of Pinus. Richardson, D. M. (eds.), Cambridge, U.K., 3-46.
- RITCHIE, G. A. 1984.** Assessing seedling quality. In: Forest Nursey Manual: Production of Bareroot Seedlings, Duryea, M. L., Landis, T. D., (eds.), Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague, 243-259.
- SAATÇIOĞLU, F. 1976.** Silvikültür I. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Temel Prensipleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları No: 222/ 2187, İstanbul.
- SIMPSON, D. G. 1983.** Cold Hardiness Testing: Proc.of B.C. Forest Nurserymen's Assoc. Meeting, 22-24, Surrey-USA, 10p.
- STEVENS, G. C., ENQUIST, B. J. 1998.** Macroecological limits to the abundance and distribution of Pinus. Ecology and Biogeography of Pinus. Richardson, D. M., (eds.), Cambridge University Press, pp. 183-190.
- SUTINEN, M-L., PALTA, J. P., REICH, P. B. 1992.** Seasonal Differences in Freezing Stress Resistance of Needles of *Pinus nigra* and *P. resinosa*: Evaluation of the Electrolyte Leakage Method, Tree Phy. 11,241-254.
- ŞİMŞEK, Y., ERKULOĞLU, Ö. S., TOSUN, S. 1995.** Türkiye'de Karaçam (*P. nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Orijin Denemelerinin İlk Sonuçları, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten No: 247, Ankara.
- TAIZ, L., ZAIGER, E. 1998.** Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc., Publishers Massachusetts, 792p.
- TAULAVUORI, E., HELLSTROM, E. K., TAULAVUORI, K., LAINE, K. 2001.** Comparison of Two Methods Used to Analyse Lipid Peroxidation From *Vaccinium Myrtillus* (L.) During Snow Removal, Reacclimation and Cold Acclimation, Journal of Experimental Botany, 52(365), 2375-2380.

- TINUS, R. W. 2002.** Using Electrolyte Leakage Tests to Determine Lifting Windows and Detect Tissue Damage. <http://www.fcnet.org/proceedings/1999/tinus.pdf>
- TILKI, F. 2005.** Seed Germination and Radicle Development in Six Provenances of *Pinus sylvestris* L. under water stres, Israel Journal of Plant Sciences, 53: 29-33.
- THOMAS, B. R., LESTER, D. T. 1992.** An Examination of Regional Provenance and Family Variation in Cold Hardiness of *Pinus monticola*, Canadian Journal of Forest Research, 22, 1917-1921.
- TÜRKEŞ, M. 1990.** Türkiye’de Kurak Bölgeler ve Önemli Kurak Yıllar, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Doktora Tezi, 195s.
- ÜRGENÇ, S. 1982.** Orman Ağaçları Islahı, İ. Ü. Orman Fak. Yayın No: 293, İstanbul, 414s.
- ÜRGENÇ, S. 1986.** Ağaçlandırma Tekniği, İ. Ü. Orman Fak. Yayın No: 375, İstanbul, 526s.
- VELİOĞLU, E., ÇENGEL, B., İÇGEN, Y., KANDEMİR, G., ALAN, M., KAYA, Z. 2003.** Moleküler Belirteçler Yardımıyla Karaçam (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Tohum Meşcerelerinde, Tohum Bahçelerinde ve Ağaçlandırmalarında Bulunan Genetik Çeşitliliğin Karşılaştırılması, Orman Ağaçları ve Tohumları Araştırma Müdürlüğü yayınları, Teknik Bülten No: 11, Ankara.
- WILINSON, H. L. 1972.** The Question of Adequate Stocking, Tree Planters Notes, 23(1): 2p.
- ZOBEL, B. J., TALBERT, J. T. 1984.** Applied Forest Tree Improvement. John Willey and Sons, New York, 505p.