

Göhlhisar orijinli Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) fidanlarında dona dayanıklı ailelerin belirlenmesi

Determination of cold resistant families in Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) seedlings from Göhlhisar origin

Abdullah KAPLAN¹ , Zafer ÖLMEZ² , Bora İMAL³ 

¹Orman Genel Müdürlüğü, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yenimahalle, Ankara

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Merkez, Artvin

³Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Merkez, Çankırı

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1261205

Sorumlu yazar / Corresponding author

Abdullah KAPLAN

e-mail: abdullahkaplan@ogm.gov.tr

Geliş tarihi / Received

06.03.2023

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

31.03.2023

Kabul Tarihi / Accepted

13.04.2023

Elektronik erişim / Online available

15.05.2023

Anahtar kelimeler:

Dona dayanıklılık

Klorofil Floresans

Pinus brutia

Fotosentetik Verimlilik

Islah

Keywords:

Cold Hardiness

Chlorophyll Fluorescence

Pinus brutia

Photosynthetic Efficiency

Breeding

Özet

Günümüzde iklim değişikliğinin en önemli etkilerinden biri olan ekstrem hava koşullarının görülme sıklığının ve şiddetinin artması, ormancılık faaliyetleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Örneğin, yüksek sıcaklıklar ve kuraklık, ormancılık çalışmalarını olumsuz etkilediği gibi düşük sıcaklıklar da bu çalışmalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Düşük sıcaklık stresi bitkilerin büyümesini, verimliliğini ve yayılış alanlarını etkileyen önemli bir stres faktörüdür. Özellikle düşük sıcaklıkların görüldüğü ağaçlandırma sahalarında başarılı olunabilmesi için dona dayanıklı türlerin ve orijinlerin belirlenmesi gereklidir. Daha önce yapılan don stresi çalışmalarında dona dayanıklılık bakımından popülasyon içi farklılıklar olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada kızılçamda Akdeniz Bölgesi Yüksek Islah Zonunda bulunan Göhlhisar orijinli ailelerin dona dayanıklılık varyasyonunun ortaya konulması amaçlanmıştır. Başlangıçta 28 aileden tohum toplanmasına karşın sadece 26 aileden yeterli fidan elde edilmiştir. Dona dayanıklılık testleri dokuz sıcaklık kademesi (-5,-10,-15,-17.5,-20,-22.5,-25,-30,-40 °C) ve kontrol (+4 °C) kullanılarak 1+0 yaşındaki fidanlardan elde edilen sürgünler üzerinde, her bir sıcaklık kademesinde her bir aile için 5 tekrarlı olarak 2022 yılı Şubat ayında gerçekleştirilmiştir. Don stresine tabi tutulan sürgünlerde oluşan don zararı klorofil floresans yöntemi ile belirlenmiş ve fotosentetik verimlilik verileri kullanılarak analizler yapılmıştır. Araştırma sonucunda dona dayanıklılık bakımından aileler arasında istatistiksel ($p < 0.0001$) olarak fark bulunmuş ve Tukey HSD testi ile aileler gruplandırılmıştır. Ancak Tukey HSD testi ailelerin zarar gördüğü sıcaklık kademe aralıklarını verdiğinden ayrıca her aile için düşük sıcaklık ve doku zararı arasındaki ilişki doğrusal olmayan model yürütülerek Lethal Temperature %50 (LT₅₀) değerleri hesaplanmıştır. Çalışılan ailelerde don zararı -17.5 °C'den sonra başlamış ve dona dayanıklılık düzeyi en yüksek -22.9 °C ile 8569 nolu aile, en düşük ise -18.7 °C ile 8587 nolu aile olarak belirlenmiştir.

Abstract

Nowadays, the increase in the frequency and severity of extreme weather conditions, which is one of the most important effects of climate change plays an important role in forestry activities. For example, low temperatures as well as high temperatures and drought negatively affect forestry works. Low temperature stress is an important stress factor affecting the growth, productivity and distribution areas of plants. It is necessary to determine cold-resistant species and origins in order to be successful, especially in afforestation areas where low temperatures are observed. However, also in previous studies about cold hardiness, it has been stated that there are within-population variations in terms of cold hardiness. This study aimed to assess variation of cold hardiness for families (26 families) of Göhlhisar origin, which is located in the Mediterranean Region High Breeding Zone in the Turkish red pine. Initially although seeds were collected from 28 families, sufficient seedlings could be produced from 26 families. Cold hardiness tests were carried out on shoots obtained from 1+0 year old seedlings with 5 repetitions in February, 2022 using control (+4 °C) and nine temperature levels (-5,-10,-15,-17.5,-20,-22.5,-25,-30,-40 °C). The cold damage in the families after the treatments was determined by the chlorophyll fluorescence method and photosynthetic efficiency data was used in the analysis. As a result of the research, the families were found to be statistically significant ($p < 0.0001$) for cold hardiness and families were grouped by Tukey HSD test. However since the Tukey HSD test indicates the temperature ranges at which families are damaged, a non-linear model reflecting the relationship between temperature and tissue damage was additionally fitted for each family to calculate the lethal temperature (LT₅₀) for each family. Cold hardiness damage started after -17.5 °C in the studied families. The family with the highest cold hardiness was determined to be family 8569 at -22.9 °C, while family 8587 had the lowest cold hardiness at -18.7 °C.

GİRİŞ

Günümüzde iklim değışikliği önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmakta, ekosistemi olumsuz yönde etkilemekte, özellikle don ve kuraklık gibi abiotik stres etmenleri bitkilerin büyüme, gelişme ve yayılış alanlarını değıştirebilmektedir. Bununla birlikte önemli bir biyoçeşitlilik ve doğal kaynak olan ormanlar, karbon yutak alanı oluşturarak küresel ısınma ve iklim değışikliğinin olumsuz etkilerini azaltmada önemli rol oynamaktadır. Bunun için var olan orman kaynaklarının korunması yanında ağaçlandırmalar ile yeni orman alanlarının oluşturulması iklim değışikliği ile mücadelede en başta gelen yöntemlerin başında gelmektedir. Son yıllarda iklim değışikliğinin hızlı biçimde gerçekleşmesi dolayısıyla ağaç türlerinin ekstrem hava şartlarına (don, kuraklık vb.) uyumu konusundaki çalışmalara olan gereksinim de artmaktadır. İklim değışikliğinin en önemli etkisi küresel ısınmadır. Bununla beraber küresel iklim değışiminin aynı zamanda olağanüstü hava koşullarının sıklığını, süresini ve şiddetini arttıracığı da tahmin edilmektedir. Örneğin yaşanacak tek bir şiddetli don olayı bitkiler üzerinde ölümcül zararlar meydana getirebilmektedir. İslah çalışmalarının temel amacı, türün kalıtsal özelliklerinden ve varyasyonlarından yararlanarak ekonominin isteklerine uygun kalite ve kantite bakımından en yüksek verime sahip orman yetiştirmektir (Ürgenç 1982). Bu amaç için ağaçlandırma çalışmalarında ıslah edilmiş tohum kaynaklarından elde edilen tohumların uygun alanlarda kullanımı en başta gelmektedir. Bununla birlikte ağaçlandırma çalışmalarında tohum ve fidan kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Tohum ve fidanlara ait morfolojik özelliklerin tespitinin yanı sıra tohum ve fidanlarda dona ve kuraklığa karşı dayanıklılığının belirlenmesi gibi fizyolojik özelliklerinin tespit edilmesi ağaçlandırmalardaki başarı açısından önem arz etmektedir. Özellikle küresel iklim değışikliğinin etkileri de göz önünde bulundurulduğunda stres etmenlerine dayanıklı tür ve orijin seçimi ve bu alanda yapılan çalışmalar da büyük önem taşımaktadır.

Yüksek sıcaklıklar ve kuraklık ormancılık çalışmalarını olumsuz etkilediği gibi düşük sıcaklıklar da aynı şekilde bu çalışmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü düşük sıcaklıklarda bitkideki biyokimyasal olaylar için gerekli

olan enerji miktarı artmakta, fotosentez miktarı azalmakta, bitkinin karbonhidrat taşınımı yavaşlamakta ve solunum hızı düşmektedir. Bitkilerin yayılış gösterdikleri yükseltelerin üst sınırları genellikle düşük sıcaklıklar tarafından belirlenmektedir (Tinus 1996, Larcher 2003).

Bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen düşük sıcaklık stresi dünya karalarının yaklaşık %16'lık kısmında etkili olmaktadır (Kalefetoğlu ve Ekmekçi 2005, Semerci ve ark. 2008, İmal 2015). Bu etki düşük sıcaklık süresi ve yoğunluğuna bağlı olarak değışmektedir. Düşük sıcaklık stresi; sıcaklık derecelerine göre soğuk ve don stresi olarak ikiye ayrılmakla birlikte çoğunlukla bu durum literatürde bir ayırım yapılmadan don stresi olarak adlandırılmaktadır (Hopkins 1995, Kaçar ve ark. 2002). İklim değışikliği nedeniyle yaşanacak şiddetli don olayları ağaçları kurutabilir ve özellikle ağaçlandırma alanlarındaki fidanların lokal iklime uyumuna engel olabilir. Bu sebeplerle orman ağaçlarının düşük sıcaklık gibi stres faktörlerine karşı vermiş oldukları tepkileri değerlendiren ekofizyoloji temeline dayalı çalışmalar son zamanlarda ön plana çıkmıştır. Özellikle ülkemiz gibi kuzey yarım kürede yer alan ve ılıman iklim yapısına sahip olan bölgelerdeki çok yıllık bitkilerin ıslahında dona dayanıklılık ana hedeflerden biridir (Aitken ve Hannerz 2001).

Çok yıllık bitkilerin ve özellikle orman ağaçlarının dona dayanıklılıklarının belirlenmesinde en yaygın kullanılan metot arazi denemeleridir. Bu denemeler orman ağaçları ıslahında orijin ve döl denemeleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak deneme sonuçlarının elde edilmesi için uzun yıllar gerekmesi ve ıslah materyalinin diğer çevresel faktörlerden de etkilenmesi, söz konusu materyalin dona dayanıklılığının belirlenmesinde yanıltıcı olabilir. Bu nedenle orman ağaçlarının dona dayanıklılığının belirlenmesinde doğadaki don olayını taklit eden ve dona dayanıklılığın belirlenmesinde hem ucuz hem de daha güvenilir bilgi üreten yapay don testleri geliştirilmiştir. Çok yıllık odunsu bitkiler genellikle dona dayanıklılık açısından ya bitkinin bütünü (fideler ya da köklü çelikler) ya da bitki parçaları (gövde bölümleri, tomurcuklar, kökler ya da yapraklar) kullanılarak test edilir. Bitkinin hangi kısmının kullanılacağı, amaç ve kapsama göre çeşitlilik gösterebilir. Yapay dona

dayanıklılık testlerinden sonra bitkide oluşan zarar çeşitli yöntemlerle (iyon sızıntısı, görsel değerlendirme, klorofil floresans, termal analiz vb.) ortaya konmaktadır. Dona dayanıklılığın en yaygın ölçüsü, %50 öldürücülükteki sıcaklık olan LT₅₀ (Lethal Temperature %50)'dir. Bu ifade bitki dokusunun %50'sinin ölmesine neden olan düşük sıcaklık değeridir (Burr ve ark. 2001, Ritchie 1984, İmal 2015).

Dona dayanıklılık türden türe değişmekle birlikte aynı türde hem popülasyonlar arası hem de popülasyon içinde farklılık göstermektedir. Örneğin; Semerci ve ark. (2019) kızılçamda 9 farklı orijinde yaptıkları çalışmada popülasyonlar arası farklılığın anlamlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Aitken ve ark. (1995) Douglas göknarında, Kandemir ve ark. (2008) ise kızılçamda dona dayanıklılık bakımından aileler arası fark bulmuşlardır.

Ülkemiz ormancılığında en fazla yayılış alanına sahip olan (5255.544 ha) ve en çok ağaçlandırılması yapılan kızılçamın donlara karşı son derece hassas olduğu belirtilmiştir (Atalay 1998, OGM 2021). Bu nedenle özellikle yüksek rakım kızılçam ağaçlandırmalarında ve soğuk mıntikalarda her türlü ağaçlandırma çalışmalarında dona dayanıklılık bakımından ıslah edilmiş ailelerden elde edilmiş tohumların kullanılması kaçınılmazdır.

Bu çalışmada Göhlhisar orijinine ait ailelerin dona dayanıklılık düzeylerinin tespit edilerek, aileler arasında dona dayanıklılık bakımından fark olup olmadığının belirlenmesi ve her aile için düşük sıcaklık ve doku zararı arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için hem Tukey HSD testi ile hem de doğrusal olmayan model yürütülerek don zararının başladığı kritik sıcaklık değerlerinin (LT₅₀) hesaplanması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada materyal olarak Kandemir ve ark. (2008) ile Semerci ve ark. (2019;2021) tarafından dona dayanıklılık bakımından üstün olarak belirlenen ve kızılçam orijin denemeleri projesinin 30. yaş sonuçlarına (Çalikoğlu ve ark. 2019) göre kurak ve soğuk deneme alanlarında yaşama oranı en yüksek orijinlerden biri olan Göhlhisar

orijinine ait aile bazlı toplanan tohumlardan yetiştirilen 1+0 yaşlı kızılçam fidanları kullanılmıştır. Tohumların temin edildiği tohum bahçesine ve bu tohum bahçesinin orijini olan tohum meşceresine ait bilgiler Çizelge 1'de gösterilmiştir. Göhlhisar orijini Emberger Biyoiklim Sınıflamasında yarı kurak-soğuk zonda bulunmaktadır (Semerci 2019).

Çizelge 1. Çalışılan orijin ve bu orijine ait tohum bahçesi bilgileri (OATIAEM 2023)

Bilgiler	TM	TB
Ulusal Kayıt No	19	8
Bölge Müd.	Isparta	Antalya
İşletme Müd.	Göhlhisar	Antalya
Şeflik	Göhlhisar	Düzlerçamı
Seçim Yılı / Tesis Tarihi	1971	1980
Rakım	1100	260
Enlem	37° 04' 30"	36° 58' 11"
Boylam	29° 32' 40"	30° 32' 42"
Klon (adet)	-	28
Aralık x Mesafe (m)	-	9 x 9

TM: Tohum Meşceresi TB: Tohum Bahçesi

Kozalaklar Çizelge 1'de belirtilen tohum bahçesinden toplanmıştır. Toplama işlemi esnasında her bir aileden toplanan kozalaklar aile bazında ayrı ayrı çuvallara konularak gerekli etiketleme işlemleri gerçekleştirilmiş, vakit kaybetmeden Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Laboratuvarına getirilerek tohum çıkarma işlemi başlatılmıştır. Çıkarılan tohumlar 2021 yılı Nisan ayı içerisinde Denizli Orman Fidanlık Müdürlüğünde 5 x 5.5 x 10 cm boyutlarında 45'lik ENSO kaplara ekilmiştir. Ekimlerde kullanılan harç karışımı %60 toprak-gübre, %20 çam kabuğu ve %20 turba olacak şekilde ayarlanmıştır. Serada ve sera dışında sulama ve güneşlenmenin etkileyici faktör (bias) oluşturmaması için kaplar raslantısal olarak dizilmiş; kenar etkisini azaltmak için çevresine enso kaplardan sıra oluşturularak deneme deseni oluşturulmuştur. Fidan yetiştirilmesi esnasında gerekli fidan bakımları da zamanında yapılmıştır. Ağaçlandırma çalışmalarında 1+0 yaşındaki Kızılçam fidanları kullanıldığından dona dayanıklılık testlerinde de 1+0 yaşındaki fidanlar kullanılmıştır. Başlangıçta 28 aileden kozalak toplanarak tohum elde edilmesine rağmen, bazı ailelerden yeterli sayıda fidan elde edilemediğinden dona dayanıklılık testleri 26 aile üzerinde yapılmıştır.

Dona Dayanıklılık Testleri ve Zararın Tespiti

Elde edilen 26 aileye ait fidanlarda 2022 yılı şubat ayında dona dayanıklılık testleri gerçekleştirilmiştir. Dona dayanıklılık testleri kontrol (+4 °C) ve -5,-10,-15,-17.5,-20,-22.5,-25,-30,-40°C sıcaklık kademeleri olmak üzere toplam 10 sıcaklık kademesinde 5 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Diğer bir deyişle bir aile her bir sıcaklık kademesinde 5 fidanla temsil edilmiştir. Toplamda 26 aile x 10 sıcaklık kademesi x 5 tekrar = 1300 fidan denemeye tabi tutulmuştur. Teste tabi tutulacak fidanlar Denizli Orman Fidanlık Müdürlüğünde kök boğazından kesildikten sonra aynı gün içerisinde İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı, Tohum Teknolojisi ve Orman Ekofizyolojisi Laboratuvarında soğutma kabinlerine getirilerek +4 °C sabit sıcaklıkta test gününe kadar 48 saat bekletilmiştir. Böylece fidanların soğuşa uyumu sağlanmıştır.

Yapılan dona dayanıklılık testlerinde Faktöriyel Deneme Desenlerinden Tesadüf Parselleri Deneme Deseni kullanılmıştır. Don testleri öncesinde her sıcaklık kademesinin bir tekrarı 1 adet kök boğazından kesilmiş sürgün örneği 17x23 cm ebatlarındaki ağzı kilitli poşetlere konulmuş, hücreler arası buz oluşumunu sağlamak için üzerlerine 10 ml civarında saf su püskürtülerek ıslatılmıştır. ıslatma işleminden sonra sürgünler dondurulmak üzere soğutucu kabine (Vötsch VT3-4030) yerleştirilmiştir. Oda sıcaklığındaki soğutucu kabinin sıcaklığı 5 °C sa⁻¹ azaltılarak, hedeflenen sıcaklık kademelerine ulaştırılmıştır. Düşük sıcaklık kademelerinde sürgünler 5 saat bekletilmiştir. Dondurulmuş fidanların yavaş yavaş çözümlerini sağlamak için soğutma kabinlerinin sıcaklıkları 5 °C sa⁻¹ artırılarak oda sıcaklığına çıkarılmıştır (Ritchie 1984, Burr ve ark. 2001, İmal 2015, Semerci ve ark. 2019).

Oluşan don zararının belirlenmesi için Klorofil Floresans yöntemi kullanılmıştır. Düşük sıcaklık stresi de dâhil olmak üzere birçok stres faktörünün bitki üzerindeki etkilerini belirlemede yaygın olarak kullanılan Flss (floresans soğutma sistemi) yöntemi, yapraktan uzaklaştırılan ışık miktarının ölçümüne dayanmaktadır. CF yöntemi tilakoid zarında Fotosistem II'de (PSII) elektron akışındaki değişiklikleri saptamak için kullanılmaktadır. Zardaki

herhangi bir değişiklik, floresansdaki değişikliklerle yansıtılmaktadır. Kısacası stres durumunda fotosentez miktarını belirlemektedir (Burr ve ark. 2001, Çiçek ve Çakırlar 2006, Ritchie 2006). CF genellikle, ışık kaynağına maksimum tepkiyi tetiklemek için karanlığa alışma döneminden sonra ölçülmektedir. Klorofil floresans ölçümlerinde F_v/F_m oranı fotosentetik aktivitenin belirlenmesinde en yaygın kullanılan parametredir. Bu parametre PSII de emilen ışığın maksimum verimidir ve sağlıklı bir bitkideki değeri 0.832 ± 0.004 olarak belirtilmiştir (İmal 2015, Kocheva ve ark. 2004, Maxwell ve Johnson 2000, Semerci 2005). Stres altındaki bitkilerde ise bu değer azalmaktadır.

Soğutma kabininden çıkarılan ve kontrol grubundan alınan fidanlar öncelikle oda sıcaklığında 5 saat 1500 lux ışık şiddeti altında bekletilmiştir. Daha sonra fidanların uç kısımlarındaki ibrelere klipsler takılarak 30 dakika karanlığa adapte işlemi sağlanmıştır. Bu işleminden sonra fidanlarda klorofil floresans ölçümleri klorofil florometre (OptiScience OS- 30P) cihazı ile yapılmıştır. Ölçümlerde elde edilen, fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) her bir aile için CF ölçüm tablolarına kaydedilmiştir.

İstatistiksel Analizler

Çalışılan sıcaklık kademelerinde don zararı (fotosentetik verimlilik) bakımından aileler arasındaki farkı belirlemek için öncelikle varyans analizi yapılmış; aileler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğu için Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Ayrıca her bir aile için sıcaklık ve doku hasarı arasındaki ilişkiyi ifade etmek için Anderson (1988) ve Kreyling ve ark. (2012) tarafından uygulanan aşağıdaki doğrusal olmayan model, klorofil floresans verilerine uyarlanarak her bir aile için LT_{50} değerleri hesaplanmıştır.

$$Y_T = Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{1 + e^{k.(T_m - T)}}$$

Modelde; Y_T : Sıcaklık kademelerindeki doku hasarı (F_v/F_m), Y_{min} : Bağımlı değişkenin alt yatay asimptotik değeri, Y_{max} : Yaralanmamış dokudaki bağımlı değişkeninin asimptotik değeri, k : Bağımlı değişken eğrisinin dikliğini temsil eden değeri, T_m : LT_{50} değerine karşılık gelen simetrik eğrinin orta noktasını ifade etmektedir. Varyans

analizleri ve Tukey HSD karşılaştırma testi JMP Pro 16 (SAS 2021); LT₅₀'nin hesaplanması R programında (version 4.0.3) drc paketi (Ritz ve ark. 2015) kullanılarak; sonuçların görselleştirilmesi ise ggplot2 paketi (Wickham 2016) kullanılarak yapılmıştır (R Core Team 2020).

BULGULAR

Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) için yapılan varyans analizi sonucunda tüm faktörlerin ve bunların interaksiyonlarının istatistiksel olarak önemli olduğu ($p < 0.001$) belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Fotosentetik verimliliğe (F_v/F_m) ait varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	F Değeri	P-değeri
Sıcaklık (T)	9	111.664	1595.887	<.0001
Aile (F)	25	0.859	4.422	<.0001
T*F	225	3.326	1.901	<.0001
Hata	1036	172.800	0.167	

Yapılan varyans analizinden sonra her bir sıcaklık kademesinde Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi yapılmış ve ilk olarak ailelerin don zararının başladığı sıcaklık kademesi aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. -25°C'den sonra teste tabi tutulan tüm aileler hayatiyetini kaybettiğinden aileler arası anlamlı farklılıklar gözlemlenmemiştir. Diğer sıcaklık kademelerine ilişkin Tukey testi sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ailelerin farklı sıcaklık kademelerindeki fotosentetik verimliliği değerleri ve bunlara ait Tukey testi sonuçları

Aile No	Sıcaklık (°C)									
	Kontrol ¹	-5	-10	-15	-17.5	-20	-22.5	-25	-30 ²	-40
8560	0.722 ABC a	0.769 A a	0.669 A a	0.670 AB a	0.564 AB ab	0.328 A c	0.42 ABC bc	0.068 A d	0.001	0.001
8561	0.708 ABC a	0.761 A a	0.713 A a	0.723 AB a	0.600 AB a	0.363 A b	0.264 ABC b	0.037 A c	0.001	0.001
8562	0.643 BC ab	0.738 AB a	0.701 A ab	0.575 B abc	0.519 AB bc	0.443 A cd	0.318 ABC d	0.000 A e	0.000	0.000
8563	0.726 ABC a	0.749 AB a	0.727 A a	0.666 AB a	0.587 AB a	0.530 A ab	0.336 ABC b	0.044 A c	0.000	0.000
8564	0.722 ABC a	0.700 AB a	0.725 A a	0.686 AB a	0.596 AB ab	0.439 A bc	0.284 ABC c	0.025 A d	0.000	0.000
8565	0.727 ABC a	0.740 AB a	0.685 A a	0.716 AB a	0.451 B b	0.445 A b	0.183 ABC c	0.001 A c	0.000	0.000
8566	0.726 ABC a	0.728 AB a	0.669 A ab	0.677 AB ab	0.526 AB b	0.307 A c	0.313 ABC c	0.000 A d	0.000	0.000
8567	0.704 ABC a	0.740 AB a	0.665 A a	0.622 AB ab	0.592 AB ab	0.467 A bc	0.350 ABC c	0.010 A d	0.000	0.000
8568	0.779 A a	0.735 AB a	0.716 A ab	0.699 AB abc	0.581 AB c	0.608 A bc	0.158 BC d	0.009 A e	0.001	0.002
8569	0.730 ABC a	0.707 AB a	0.735 A a	0.651 AB ab	0.629 AB ab	0.530 A b	0.528 A b	0.031 A c	0.000	0.000
8570	0.690 ABC ab	0.691 AB ab	0.738 A a	0.653 AB abc	0.516 AB c	0.545 A bc	0.332 ABCd	0.044 A e	0.000	0.000
8572	0.705 ABC a	0.686 AB a	0.708 A a	0.691 AB a	0.596 AB a	0.580 A a	0.415 ABC b	0.023 A c	0.000	0.000
8573	0.773 A a	0.750 AB a	0.700 A a	0.672 AB a	0.574 AB a	0.328 A b	0.238 ABC b	0.010 A c	0.000	0.001
8574	0.707 ABC a	0.675 AB a	0.720 A a	0.645 AB a	0.548 AB ab	0.397 A bc	0.188 ABC cd	0.055 A d	0.002	0.003
8575	0.738 ABC a	0.701 AB a	0.673 A a	0.62 AB a	0.590 AB a	0.218 A b	0.058 C bc	0.003 A c	0.000	0.000
8576	0.705 ABC a	0.720 AB a	0.639 A a	0.697 AB a	0.567 AB a	0.213 A b	0.241 ABC b	0.032 A c	0.000	0.000
8577	0.705 ABC a	0.68 AB a	0.673 A a	0.636 AB a	0.542 AB a	0.292 A b	0.242 ABC b	0.000 A c	0.000	0.000
8578	0.707 ABC a	0.706 AB a	0.665 A a	0.628 AB a	0.576 AB ab	0.413 A bc	0.297 ABC c	0.012 A d	0.000	0.000
8579	0.736 ABC a	0.743 AB a	0.659 A ab	0.712 AB ab	0.573 AB b	0.597 A ab	0.322 ABC c	0.011 A d	0.003	0.009
8580	0.632 C a	0.639 B a	0.614 A ab	0.598 AB ab	0.651 AB a	0.347 A bc	0.117 BC cd	0.000 A d	0.001	0.001
8581	0.689 ABC a	0.769 A a	0.714 A a	0.765 A a	0.653 AB a	0.417 A b	0.435 AB b	0.064 A c	0.001	0.001
8582	0.717 ABC a	0.679 AB ab	0.636 A abc	0.644 AB abc	0.571 AB bc	0.515 A c	0.289 ABC d	0.000 A e	0.000	0.000
8583	0.744 ABC a	0.693 AB a	0.707 A a	0.697 AB a	0.641 AB a	0.447 A b	0.360 ABC b	0.046 A c	0.000	0.001
8584	0.707 ABC a	0.726 AB a	0.626 A a	0.629 AB a	0.691 A a	0.352 A b	0.244 ABC b	0.012 A c	0.000	0.001
8586	0.761 A a	0.723 AB a	0.739 A a	0.611 AB a	0.530 AB ab	0.316 A bc	0.215 ABC cd	0.006 A d	0.002	0.003
8587	0.748 AB a	0.711 AB a	0.748 A a	0.610 AB ab	0.457 B bc	0.356 A c	0.070 BC d	0.001 A d	0.001	0.002

¹ Büyük harfler bir sıcaklık kademesinde ailelerin oluşturduğu grupları, küçük harfler bir ailenin farklı sıcaklıklardaki oluşturduğu grupları gösterir.

² -30°C ve -40°C sıcaklık kademesinde tüm ölçümler sıfır değerini aldığı için istatistiki değerlendirmeye tabi tutulmamıştır.

İlgili Çizelge 3 incelendiğinde kızılçam ailelerinde don zararının -17.5 °C derecede başladığı anlaşılmaktadır. Tukey testi sonuçlarına göre, çalışmada kullanılan aileler

arasında dona dayanıklılık düzeyi bakımından anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Fotosentetik verimlilik (F_v/F_m) bakımından en iyi performansı -22.5 °C 'de 8569 nolu aile

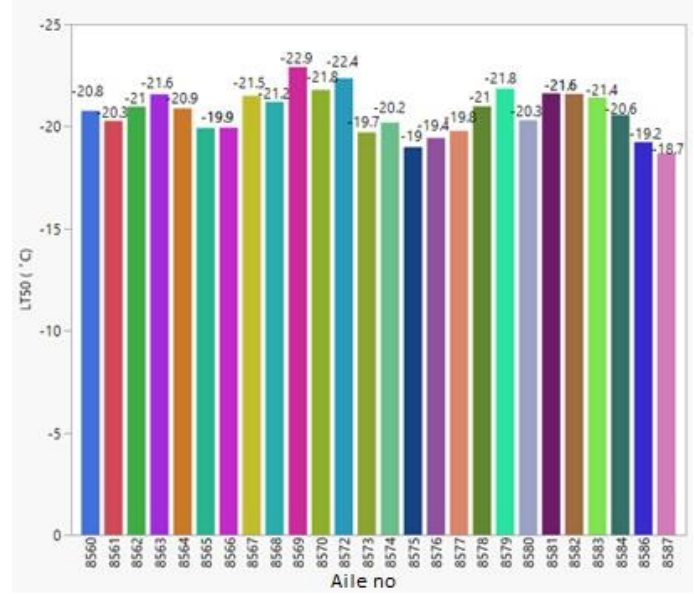
göstermiştir. -17.5 °C'de ise en düşük performansı ise 8565 ve 8587 nolu aileler göstermiştir. Telifisi mümkün olmayan don zararı ise -25 °C'de oluşmaya başlamıştır.

Ailelerin tüm sıcaklık kademelerindeki fotosentetik verimlilikleri ile doğrusal olmayan regresyon modeli kullanılarak elde edilen eğrilerinin eğimleri, minimum, maksimum asimptotik değerleri ve LT₅₀ (°C) değerleri de Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Ailelerin doğrusal olmayan model kullanılarak hesaplanan LT₅₀ değerleri

Aile	Eğim	Minimum asimptotik değer	Maksimum asimptotik değer	LT ₅₀ (°C)
8560	-0.348	-0.0007969	0.729	-20.8
8561	-0.491	-0.0007957	0.736	-20.3
8562	-0.441	-0.0008312	0.673	-21.0
8563	-0.552	-0.0007927	0.711	-21.6
8564	-0.525	-0.0007777	0.711	-20.9
8565	-0.456	-0.0008053	0.720	-19.9
8566	-0.413	-0.0007757	0.717	-19.9
8567	-0.559	-0.0008831	0.681	-21.5
8568	-1.509	-0.0008138	0.703	-21.2
8569	-1.031	-0.0008122	0.675	-22.9
8570	-0.581	-0.0007883	0.676	-21.8
8572	-0.911	-0.0007846	0.676	-22.4
8573	-0.457	-0.0008022	0.743	-19.7
8574	-0.482	-0.0007554	0.699	-20.2
8575	-0.760	-0.0007809	0.695	-19.0
8576	-0.510	-0.0007452	0.709	-19.4
8577	-0.469	-0.0007772	0.691	-19.8
8578	-0.479	-0.0155757	0.685	-21.0
8579	-0.957	-0.0007913	0.688	-21.8
8580	-0.978	-0.0007540	0.631	-20.3
8581	-0.479	-0.0008135	0.734	-21.6
8582	-0.789	-0.0007929	0.655	-21.6
8583	-0.522	-0.0007767	0.713	-21.4
8584	-0.630	-0.0007766	0.688	-20.6
8586	-0.410	-0.0007940	0.743	-19.2
8587	-0.452	-0.0007989	0.735	-18.7

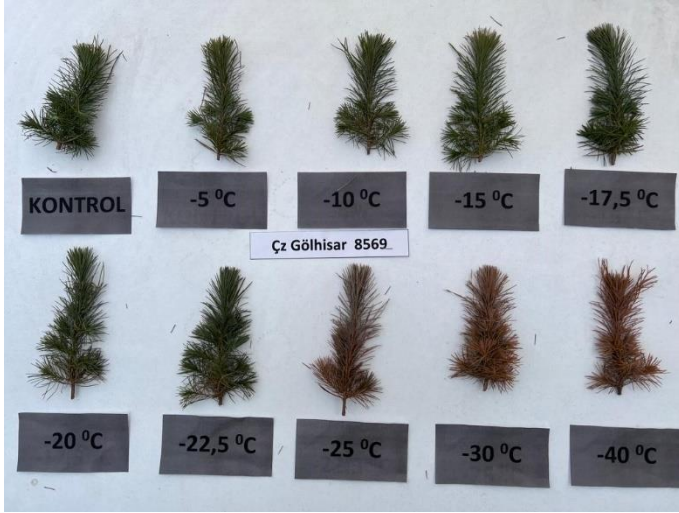
Doğrusal olmayan model kullanılarak hesaplanan LT₅₀ değerleri ele alındığında, en yüksek dona dayanıklılık sıcaklığı -22.9 °C de 8569 nolu aile en düşük sıcaklık ise -18.7 °C ile 8587 nolu ailede hesaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Ailelere ait tahmin edilen LT₅₀ değerleri (°C)

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Göhlhisar orijinli kızılçam fidanlarında yapılan dona dayanıklılık testleri sonucunda aileler arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Düşük sıcaklık şiddetinin artması fotosentetik verimliliğin azalmasına neden olmuş ve uygulanan don stresi şiddetinin artmasıyla zarar miktarı da artmıştır (Şekil 2). Bu durum bitkileri etkileyen stresin süresi ve şiddeti ile oluşan zararın miktarının doğru orantılı olduğu bilinen stres fizyolojisi kuralıdır. Ancak çok yıllık bitkilerde ve özellikle koniferlerde dona dayanıklılık bitkinin türüne, genetiğine ve yaşına bağlıdır. Çolak ve ark. (2012) üç farklı sıcaklık kademesinde (-15 °C, -25 °C ve -40 °C) Karaçam, Sarıçam ve Toros sedirini don testine maruz bırakmış, Toros sedirinde -25 °C'de; Karaçam da -45 °C 'de ciddi zararların görüldüğünü tespit etmiş ancak Sarıçam'ın bu düşük sıcaklıklardan etkilenmediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca tüm bunların yanında söz konusu bitkilerin dona dayanıklılık düzeyi mevsimsel bir değişimde göstermektedir (Bray ve ark. 2000, Kozłowski ve ark. 1991). İmal (2015) karaçamda kış mevsiminde don zararının -20 °C ile -25 °C arasında başladığını, aynı orijinlerde ilkbahar mevsiminde ise don zararının -5 °C ile -10 °C arasında başladığını tespit etmiştir.



Şekil 2. Kızılçam fidanlarında görsel don zararı (Aile No:8569)

Çok yıllık bitkiler tek veya iki yıllık bitkilerden; geniş alanda yayılış gösteren türler dar alanda yayılış gösteren türlerden daha yüksek genetik çeşitliliğe sahiptir. Bu çeşitlilik de dona dayanıklılık gibi karakterler bakımından bir çeşitliliğin ortaya çıkmasına neden olur (Zobel ve Talbert 1984). Kandemir ve ark. (2008) kızılçam türünde dona dayanıklılık bakımından hem orijinler arasında hem de aileler arasında farklılıklar olduğunu belirtmişler ve 2 yaşındaki kızılçam fidanlarının -15.2 °C'lik sıcaklıklarda zarar gördüğünü tespit etmişlerdir. Ancak söz konusu çalışma Ankara'da doğal ortamda yapıldığı için ailelerin dona dayanıklılıkları hakkında bilgi üretilememiştir ve çalışmada kullanılan orijinler bazında değerlendirmeler yapılmıştır. Semerci ve ark. (2019;2021) iki farklı Kızılçam orijin deneme sahasından örnekledikleri 10 farklı orijine ait kızılçam sürgünlerini don testlerine maruz bırakarak orijinler arasında dona dayanıklılık bakımından farklılıklar olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar söz konusu çalışmada Kızılçam türünde genel olarak don zararının -15 ile -17.5 °C'de başladığını, dona en dayanıklı orijin olarak tespit edilen Göhlhisar orijini ise LT_{50} değerini -20.3 °C'de olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise aile bazlı olarak çalışılmamıştır. Hem Kandemir ve ark. (2008) hem de Semerci ve ark. (2019;2021) bu çalışmaya konu olan Göhlhisar orijinini dona dayanıklılık bakımından üstün orijin olarak bulmuşlardır. Ayrıca Çalikoğlu ve ark. (2019) kızılçam orijin denemeleri 30. yıl sonuç raporunda soğuk mıntikalarda yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında Göhlhisar orijininin değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

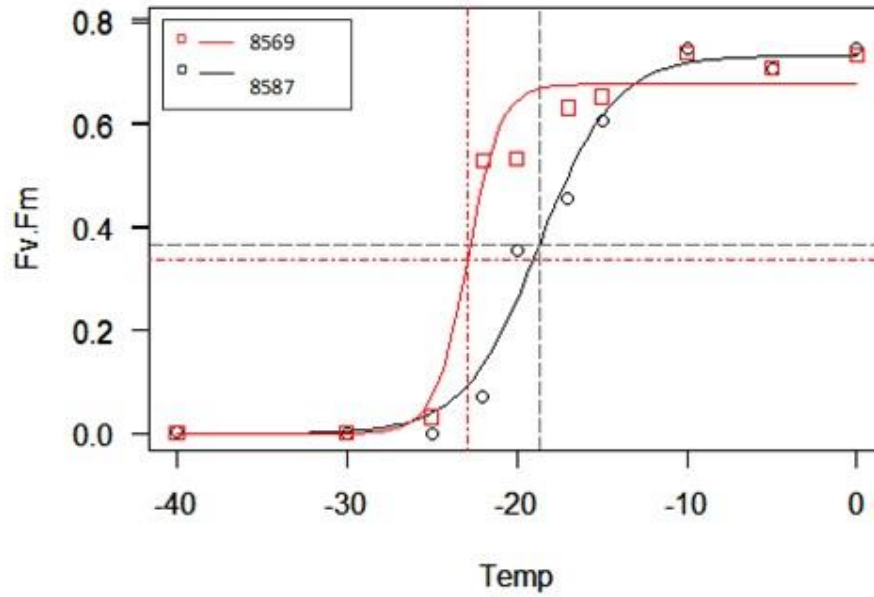
Bu çalışma ile daha önceki çalışmalara paralel olarak Göhlhisar orijininde ortalama don zararı, orijin bazında -20.7 °C'de tespit edilmiştir. Ayrıca söz konusu orijinde dona dayanıklılık bakımından LT_{50} değeri en yüksek aile (8569, -22.9 °C) ile en düşük aile (8587, -18.7 °C) arasındaki sıcaklık farkı -4.2 °C olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu fark dona dayanıklılık bakımından popülasyon içi varyasyonun mevcut olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte dona dayanıklılık aile bazlı olarak değerlendirildiğinde, dona dayanıklı 15 aileyle bu zararın görülme sıcaklığının -21.5 °C'ye kadar çıkabileceği tespit edilmiştir. Bu sıcaklık farkı her ne kadar az gibi görünse de doğada ağaçların zarar görmesinde ve ağaçlandırma çalışmalarının başarısında oldukça etkilidir. Ancak dona dayanıklılık düzeyi mevsimsel bir değişim gösterdiğinden bu bulgular sadece kış mevsimini kapsamaktadır. Bu sebeple ailelerin farklı mevsimlerdeki dona dayanıklılıklarını incelemek yararlı olacaktır.

Bu çalışmada don zararının belirlenmesinde klorofil floresans yöntemi kullanılmıştır. Önceki çalışmalar zararın belirlenmesinde iyon sızıntısı ve görsel değerlendirme yöntemleri ile klorofil floresans yöntemi arasında yüksek korelasyon belirlediğinden düşük sıcaklığın oluşturduğu zararın belirlenmesinde bu metodlardan uygun olanının güvenle kullanılabileceğini göstermektedir (Binder ve Fielder 1996, Burr ve ark. 2001, Fisker ve ark. 1995, İmal 2015, Kandemir 2008, Lindgren ve Hallgren 1993, Peguero-Pina ve ark. 2008, Semerci ve ark. 2021). İyon sızıntısı klorofil floresans yöntemine göre uzun zaman isteyen bir yöntemdir. Görsel değerlendirme yöntemi de sübjektif olduğundan değerlendirme yapan kişiye göre sonuçlar değişebilmektedir (Burr ve ark. 2001). Klorofil floresans yöntemi daha ekonomik, hızlı ve bitkiye zarar vermeyen bir ölçüm yöntemi olduğundan, Kızılçam'da don zararını belirlemede güvenle kullanılabilir.

Dona dayanıklılığın en yaygın ölçüsü, %50 öldürücülükteki sıcaklık olan LT_{50} 'dir. Bu ifade bitki dokusunun %50'inin ölmesine neden olan düşük sıcaklık kritik değeridir. Dona dayanıklılık ölçümleri, doğrusal enterpolasyon, Spearman-Kärber yöntemi, logit ve probit modelinin yanı sıra doğrusal olmayan modeller kullanılarak analiz edilebilmektedir (Linden 2002). Bu çalışmada hem Tukey testi ile ailelerde don zararının başladığı sıcaklık kademe

aralıkları hem de doğrusal olmayan model kullanılarak ailelerin LT_{50} değerleri tahmin edilmiştir. Tukey testi çalışılan sıcaklık kademelerinde bir ailenin hangi sıcaklık kademeleri arasında zarar gördüğünü tahmin ederek zarar gördüğü sıcaklık aralığını verir. Örneğin 8587 nolu ailenin strese maruz kalmamış bireylerinde ortalama F_v/F_m 0.748 olurken bu ailenin -17.5, -20 ve -22.5 °C de ortalama F_v/F_m değeri sırasıyla 0.457, 0.356 ve 0.070 olarak bulunmuştur. Tukey testine göre bu aile -17.5 °C ile

-20 °C arasında zarar görmeye başlamıştır (Çizelge 4). Oysa kullanılan doğrusal olmayan model çalışılan tüm sıcaklık kademelerindeki F_v/F_m performansını dikkate alarak LT_{50} 'yi hesaplar (Şekil 3). 8587 nolu ailenin LT_{50} 'si -18.7 °C'dir ve bu aile bu sıcaklıktan sonra tamiri mümkün olmayan zarar görür. Bu sebeple bundan sonraki dona dayanıklılık çalışmalarında LT_{50} hesap edilirken doğrusal olmayan model kullanılmalıdır.



Şekil 3. Doğrusal olmayan model kullanılarak LT_{50} 'nin hesap edilmesi

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak kızılçamda aile bazında çalışarak aileler arasında dona dayanıklılık bakımından farklıklar olduğu tespit edilmiş ve her bir ailenin zarar görmeye başladığı LT_{50} değerleri hesaplanmıştır. Bu türde özellikle soğuk muntikalarda yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında dona dayanıklı ailelerden elde edilecek fidanlarla ağaçlandırma çalışmalarını yapmak gerekmektedir. Sadece Kızılcımda değil ağaçlandırma yapılan türlerde dona dayanıklılık bakımından üstün tür, orijin ve ailelerin bilinmesi özellikle soğuk muntikalarda yapılacak ağaçlandırma çalışmalarındaki başarıyı olumlu yönde etkileyecektir. Bunun için belirlenen ailelerle bir tohum bahçesi tesis edilmesi de yararlı olacaktır. Ayrıca bundan sonra dona dayanıklılık üzerine yapılacak olan çalışmaların orijin bazlı değil, aile bazlı olarak planlanması, LT_{50} değerlerinin ise doğrusal olmayan modelle hesap edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte hem Kızılcımda hem de diğer asli ağaç

türlerinde moleküler yöntemler ile de dona dayanıklılık bakımından seleksiyon olanakları araştırılmalıdır.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim dalında yürütülen “Değişik ıslah zonlarından örneklenen Kızılcım (*Pinus brutia* ten.) ailelerinin dona dayanıklılıklarının belirlenmesi” başlıklı doktora tezinin bir kısmından üretilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Orman Genel Müdürlüğü Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde “Diğer Çalışmalar” adı altında desteklenmiştir. Başta Oğuz Şerif URHAN ve Mehmet ACET olmak üzere bireysel ve kurumsal katkı sağlayanlara teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aitken SN, Hannerz M (2001) Genecology and gene resource management strategies for conifer cold hardiness. *Conifer Cold Hardiness*, 23-53
- Anderson JA, Kenna MP, Taliaferro CM (1988) Cold hardiness of 'Midiron' and 'Tifgreen' bermudagrass. *Hortscience*, 23: 748-750
- Atalay İ, Sezer İ, Çukur H (1998) Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarının ekolojik özellikleri ve tohum nakli açısından bölgelere ayrılması. *Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü*, Yayın No:6, İzmir
- Binder WD, Fielder P (1996) Chlorophyll fluorescence as an indicator of frost hardiness in white spruce seedlings from different latitudes. *New Forest*, 11: 233-253
- Bray EA, 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
- Burr KE, Hawkins CDB, Hirondelle SJL, Binder WD, George FM, Repo T (2001) Methods for measuring cold hardiness of conifers. *Conifer cold hardiness*, In: Bigras, F. J. , Colombo, S. J. (ed), Chapter 14, Kluwer Academic Publishers, 369-401
- Çalıkoğlu M, Özbey AA, Örtel E, Altun ZG, Atmaca C, Taştan Y, Arslan M, Yurdabak Ü, Akbin G, Karatay H, Yirik A, Yıldızbakan A, Taşdemir C, Boza A (2020) Kızılçam orijin denemeleri. Proje Sonuç Raporu, Proje Numarası:19.1705/1986-2019. Antalya, 19:1-49s B. A. O. A. E. M. Orman Genel Müdürlüğü
- Çiçek N, Çakırlar H (2006) Fotosentezi ölçme yöntemleri klorofil fluoeransı. *Anadolu Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi-C*, 7(3)
- Fisker SE, Rose R, Haase DL (1995) Chlorophyll fluorescence as a measure of cold hardiness and freezing stress in 1+1 douglas-fir seedlings. *Forest Science*, 41: 564-575
- Hopkins WG (1995) Introduction to plant physiology. The University Of Western Ontario, John Wiley&Sons, Inc., New York
- İmal B (2015) Bazı Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) orijinlerinin dona ve kuraklığa karşı dayanıklılıklarının ekofizyolojik olarak belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- SAS Institute Inc. (2021) Discovering JMP® 16. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Kaçar B, Katkat AV, Öztürk Ş (2002) Bitki fizyolojisi. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın no: 198, ISBN: 975-564-133-5
- Kalefetoğlu T, Ekmekçi Y (2005) The effects of drought on plants and tolerance mechanisms (Review). *G.U. Journal of Science*, 18 (4): 723-740
- Kandemir GE, Kaya Z, Temel F, Önde S (2008) Genetic variation in cold hardiness and phenology between and within Red pine (*Pinus brutia* Ten) populations implications for seed transfer. *Silvae Genetica*, 59:2-3
- Kocheva K, Lambrev P, Georgiev G, Goltsev V, Karabaliev M (2004) Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63(1): 121-124
- Kozłowski TT, Kramer PJ, Pallardy SG (1991) The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San Diego, 657p.
- Kreyling J, Wiesenberger GLB, Thiel D, Wohlfart C, Huber G, Walter J, Jentsch A, Konnerth M, Beierkuhnlein C (2012) Cold hardiness of *Pinus nigra* Arnold as influenced by geographic origin, warming, and extreme summer drought. *Environ Exp Bot*, 7378:99-108.
- Larcher W (2003) Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer Science & Business Media.
- Linden L (2002) Measuring cold hardiness in woody plants. University of Helsinki Department of Applied Biology Publication, Helsinki.
- Lindgren K, Hallgren JE (1993) Cold acclimation of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* assessed by chlorophyll fluorescence. *Tree Physiology*, 13: 97-106
- Maxwell K, Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 345:659-668
- OATIAEM (2023). Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü Arşivi. T.C. Orman Genel Müdürlüğü, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitü Müdürlüğü s.<https://ortohum.ogm.gov.tr/SitePages/>
- OGM., 2021. Ormanlık İstatistikleri. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>
- Peguero-Pina JJ, Morales F, Gil-Pelegrin E (2008) Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma. *Ann For Sci* 65:813.
- R Core Team (2020) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ritchie GA (1984) Assessing seedling quality. In: *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*, Durys, M. L., Landis, T. D., (eds.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague, 243-259
- Ritchie GA (2006) Chlorophyll fluorescence, what is it and what do the numbers mean. *USDA Forest Service Proceedings*, 34-43
- Ritz C, Baty F, Streibig JC, Gerhard D (2015) Dose-Response Analysis Using R. *PLOS ONE*, 10(e0146021). <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0146021>
- Semerçi H (2005) Farklı zonlarından örneklenen Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold subspecies *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) orijinlerinin soğuga dayanıklılıkları. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Semerçi H, Öztürk H, Semerçi A, İzbrak H, Ekmekçi Y (2008) Değişik ıslah zonlarından örneklenen Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) orijinlerinin dona ve kuraklığa dayanıklılıklarının belirlenmesi. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülteni, 21 (340-33): 1-68
- Semerçi H, Semerçi A, İmal B, Kaşko Arıcı Y (2019) Ankara ve Antalya kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orijin deneme sahalarında bazı orijinlerin dona dayanıklılıklarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 20(4): 290-296.
- Semerçi A, İmal B, Gonzalez-Benecke CA (2021) Intraspecific variability in cold tolerance in *Pinus brutia* sampled from two contrasting provenance trials. *New Forests*, 52: 621-637
- Tinus WR (1996) Cold hardiness testing to time lifting and packing of container stock: a case history. *Tree plant notes USDA Forest Service*, 47 (2): 61-67
- Wickham H (2016) *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4.
- Zobel BJ, Talbert JT (1984) Applied forest tree improvement. John Wiley and Sons, New York, 505p