

Ankara ve Antalya kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orijin deneme sahalarında bazı orijinlerin dona dayanıklılıklarının belirlenmesi

Hacer Semerci , Akkın Semerci , Bora İmal , Yeliz Kaşko Arıcı 

Özet: Kızılçam kurağa dayanıklı olması ve hızlı büyümesi nedeniyle, Türkiye’de ağaçlandırmalarda kullanılan en önemli ağaç türüdür. Ancak bu türün kurak-soğuk alanlar ve yükseklerde yayılışındaki en önemli engel dondurur. Bu çalışmada kızılçamın doğal yayılış alanı içerisinde ve dışında tesis edilen orijin deneme sahalarındaki (Antalya ve Ankara) bazı orijinlerin dona dayanıklılıkları araştırılmıştır. Antalya ve Ankara’daki orijin denemelerinden ocak ayı sonunda dokuz orijininin son yıl sürgünleri örneklenmiştir. Çalışma Tesadüf Parselleri Deneme Deseninde yürütülmüş olup düşük sıcaklıklar muameleleri oluşturmuştur. Kontrol grubu düşük sıcaklığa maruz bırakılmamıştır. Diğer sürgünler ise -5, -10, -12.5, -15, -17.5, -20, -22.5, -25, -30 ve -40 °C’de yapay dondurma testlerine tabi tutulmuştur. Dondurma testleri sonrasında sürgünlerde meydana gelen zararı tespit etmek için örneklerin elektrolit salımı ölçülmüş ve bu iletkenlik değerleri kullanılarak nispi yararlanma indeksi (I_r) hesaplanmıştır. İt sonuçlarına göre, kızılçam hücre membranlarında don zararı ocak ayı sonunda; -15 ile 17.5 °C arasında, ölümcül oranda zarar ise -20 °C’de başlamıştır. Ayrıca dona dayanıklılık bakımından orijinler arasında istatistiksel anlamda önemli farklar bulunmuştur. Antalya deneme alanındaki Samsun-Bafra (BAF) ve Burdur-Göhlisar (GOL) orijinlerinin diğer orijinlerden daha dayanıklı oldukları belirlenmiştir. Ankara deneme alanında ise Burdur-Göhlisar (GOL), Antalya-Kaş (KAS) ve Kıbrıs-Güzelyurt (KIB) orijinleri dona diğer orijinlerden daha dayanıklı bulunmuştur. Mersin-Gülnar (GUL), Antalya-Kaş (KAS), Kıbrıs-Güzelyurt (KIB) ve Mersin-Anamur (ANA) orijinlerinin Ankara deneme sahasında alınan örneklerinin dona dayanıklılık düzeyinin, Antalya deneme sahasından alınan aynı orijindeki örneklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu orijinlerin dona dayanıklılığındaki artışın nedeni fenotipik plastisite olabilir.

Anahtar kelimeler: *Pinus brutia*, Kızılçam, Dona dayanıklılık, Orijin, Elektrolit sızıntısı

Determination of cold hardiness of some Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances in Ankara and Antalya provenance trials

Abstract: Turkish red pine (*Pinus brutia*) is the most important tree species for afforestation in Turkey due to its drought tolerance and rapid growth. However, its distribution is highly limited in arid-cold regions and high elevation areas due to its sensitivity to frost. This study aimed to evaluate frost tolerance of some Turkish red pine origins sampled from provenance trial areas located its natural distribution area and outside of its natural distribution area (Antalya and Ankara). One year-old twigs of *Pinus brutia* were sampled from provenance trials in Antalya and Ankara. The experiment was a completely randomized parcel design where the frost test temperatures were the treatments. The twigs were subjected to cold temperatures of -5, -10, -12.5, -15, -17.5, -20, -22.5, -25, -30 and -40 °C, and control groups were not subjected to any of low temperatures. After freezing tests, electrical conductivity of the twigs was measured and values were converted to relative damage index (I_r). Results showed that damages of cell membranes start between -15 and -17.5 °C, while lethal damage occurred at -20 °C at the end of January. Significant variations were found between cold hardiness of origins. Samsun-Bafra (BAF) and Burdur-Göhlisar (GOL) origins were more tolerant to frost compared to those from Antalya provenance trial. Similarly, Burdur-Göhlisar (GOL), Antalya-Kaş (KAS) and Cyprus-Güzelyurt (KIB) origins were more tolerant compared to those from Ankara provenance trials. Mersin-Gülnar (GUL), Antalya-Kaş (KAS), Kıbrıs-Güzelyurt (KIB) and Mersin-Anamur (ANA) origins sampled from Ankara provenance trial had greater frost resistance to frost than the same origins sampled from Antalya. The reason for increased frost tolerance of the origins from Ankara could be attributed to their greater phenotypic plasticity.

Keywords: *Pinus brutia*, Turkish red pine, Cold hardiness, Origin, Electrolyte release

1. Giriş

Günümüzde iklim değişikliği önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmakta ve ekosistemleri olumsuz yönde etkilemektedir. İklim değişikliği bitkilerin büyüme ve

gelişimini etkilemekte, yayılış alanlarını değiştirebilmektedir. Bu nedenle bitkilerin özellikle kuraklık, düşük sıcaklık ve tuzluluk stresine vermiş oldukları tepkileri değerlendiren ekofizyoloji temeline dayalı çalışmalar son zamanlarda ön plana çıkmıştır.

✉ ^a OGM İç Anadolu Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

^b Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Nisnar Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Ormanlık Bölümü, Nisnar, Türkiye

^c Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi, Çankırı, Türkiye

^d Ordu Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ordu, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): hacersemerci@ogm.gov.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 26.06.2019, **Accepted** (Kabul tarihi): 19.12.2019



Citation (Atf): Semerci, H., Semerci, 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. DOI: [10.18182/tjf.582462](https://doi.org/10.18182/tjf.582462)

Ağaçların farklı çevresel koşullara, genetik adaptasyonu veya fenotipik plastisite ile nasıl uyum sağladıklarını anlamamızı sağlayan orijin denemeleri bitki adaptasyon çalışmalarında yaklaşık 200 yıldan beri kullanılmaktadır (Matyas, 1996). Orijin denemeleri ile bir yöreye en uygun tohum kaynakları belirlenir, uyum yeteneği yüksek olan bir tohum kaynağının transfer sınırları ortaya konarak ağaçlandırma ve ağaç ıslahı zonlarının oluşturulması konusunda bilgiler toplanır. Ayrıca atmosferik kirlenmenin ve küresel ısınmanın ormanlar üzerindeki etkisi yine farklı çevrelerde yetişen orijinler üzerinde yapılan çalışmalarla ortaya konur (Işık vd., 2002).

Orijin denemelerinde yaşama oranı, orijinlerin bir yöreye adaptasyonunu belirleyen en önemli göstergeler arasında yer almaktadır. Orijinlerin yöreye adaptasyonunda ise (özellikle doğal yayılış alanı dışındaki sahalarda) ekstrem soğuk ve kurak dönemler sınır teşkil etmekte, ancak bu dönemlerin ne zaman meydana geleceği ise tahmin edilememektedir. Bu yüzden orijin denemelerinden istenen sonuçların alınabilmesi için uzun döneme yayılmış gözlemler gerekmektedir. Nitekim kızılçam gibi kısa idare süreli sayılabilecek türlerde bile, çevresel streslere karşı dayanıklı orijinlerin tespiti için 30-40 yıllık bir süreye ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Cengiz vd., 1999). Ayrıca orijin denemeleri aynı alana farklı orijinlerin getirilip arazi koşullarında yetiştirilmesine yönelik bir uygulama olması nedeniyle, bu denemelerde oluşan zararların kaynaklarının (don, kuraklık, tuz, ozon vb.) ve bu kaynakların etkisinin (oluşan zararda hangi kaynağın ne derece etkili olduğu) belirlenmesi oldukça güçtür. Son zamanlardaki teknolojik gelişmeler, laboratuvar koşullarında yapılan ekofizyoloji çalışmaları ile bitkilerin fizyolojik aktivitelerini etkileyen bir veya birden fazla stres etmeninin bitki üzerindeki olası etkileri ve bitkinin bu streslere vermiş olduğu tepkilerin belirlenmesine imkan sağlamaktadır (Çalikoğlu, 2002; İmal, 2015).

Dona dayanıklılık; bitkinin 0 °C'nin altındaki düşük sıcaklıklarda zarar görmeksizin, canlı kalabilme yeteneği şeklinde tanımlanmıştır (Glerum, 1985). Son zamanlarda bitkinin dona dayanıklılık düzeyi, yaprakların veya sürgünlerin %50'sinin zarar gördüğü veya popülasyonun %50'sinin öldüğü düşük sıcaklık değeri (LT₅₀) olarak ifade edilmektedir (Bannister ve Neuener, 2001; Burr vd., 2001; Hawkins vd., 2003). Türler buldukları doğal koşullarda dona dayanıklılık bakımından genetik bir farklılık geliştirmiş olup, bu genetik potansiyel yanında yetişme ortamındaki ışık, nem, bitki beslenmesi gibi çevresel değişkenler de bitkinin dona dayanıklılık düzeyini etkileyen faktörlerdir.

Bitkilerde dona dayanıklılık testlerinde, bütün bir bitki ya da bitkinin organ veya dokusu dondurularak değerlendirilmeler yapılmaktadır. Genellikle, bu testlerde koniferlerde iğne yapraklar, geniş yapraklılar ve herdem yeşil türlerde ise tomurcuklar kullanılmaktadır. Ancak, küçük fidanlarda (örneğin, bir ya da iki yaşındaki fidanlarda) testler bitkinin tamamı dondurularak yapılmaktadır (Colombo vd., 1984; Burr vd., 2001; Hironelle vd., 2006). Dona dayanıklılık düzeyinin ölçülmesi için yapılan testler, kontrollü bir ortama yerleştirilen bitkinin önce belirli bir sıcaklığa kadar kademeli olarak soğutulması; ulaşılan bu düşük sıcaklıkta bir süre bekletilmesi; sonra başlangıçtaki sıcaklığa kadar tekrar kademeli olarak dönülmesi ve bu uygulamalar sonrasında oluşan zarar miktarının çeşitli metotlarla (iyon

sızıntısı, klorofil floresans, görsel değerlendirme vb.) belirlenmesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır (Ritchie, 1984; Burr vd., 2001).

Ülkemiz konumu nedeniyle farklı edafik faktörler ile değişik iklim koşullarına ve bunun sonucu olarak da oldukça çeşitli orman ekosistemlerine sahiptir. Bu durum ağaçlandırma çalışmalarında uygulanacak olan teknik ve kültürel tedbirleri farklı kılmaktadır. Örneğin, bitkinin yaşaması için uygun olmayan edafik (sığ, tuzlu, yüksek rakım vb.) ve iklimik (yetersiz yağış, don, kuraklık vb.) koşulların hakim olduğu marjinal alanlarda olumsuz koşullara (don, kuraklık ve tuz vb.) dayanıklı tür ve orijinlerin ve buralara uygun, kaliteli (hedef) fidanların, gerekli toprak işleme ve dikim metotlarının kullanılması başarıyı etkileyen önemli faktörler arasındadır.

Kızılçam ülkemizde iğne yapraklı türler içinde en geniş yayılışa sahip (5.610.215 ha.) ve ağaçlandırma çalışmalarında en çok kullanılan türdür. Kızılçamın ülkemizde yapılan ağaçlandırmadaki payı %40'a yaklaşmıştır (Boydak vd., 2006; OGM, 2015; Öztürk ve Deligöz, 2018). Böylesi geniş ve yoğun ağaçlandırma çalışmalarının uygulandığı bölgelerde edafik ve iklimsel faktörler de değişiklik göstermektedir. Örneğin yüksek zonlarda kızılçamla yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında düşük sıcaklıklar başarı açısından sınırlayıcı bir etmen olabilmektedir. Kızılçamın doğal yayılış alanı içindeki en düşük sıcaklıklar -15 ile -17.7 °C'ye kadar inebilmektedir (Atalay vd., 1998; Bannister ve Neuener, 2001).

Kızılçamda ağaç ıslahı çalışmalarında geçiş zonları da dikkate alındığında, kuraklığa ve dona dayanıklılık ıslahı, üzerinde önemle durulması gereken konular arasında yer almaktadır (Boydak vd., 2006). Nitekim Dirik (2000), türün kuraklıkla birlikte dona dayanıklı orijinlerinin de tespit edilerek ağaçlandırma çalışmalarında uygun alanlarda kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Diğer taraftan, Yalçın (2012) gelecekte kızılçamın yayılış alanının iklim değişikliğinin etkisi ile daha kuzeye ve daha yüksek rakımlara doğru kayacağını ifade etmektedir. Kuzeyde ve daha yükseklerde kızılçamın karşılaşacağı en önemli sorun ise don tehlikesi olacağı tahmin edilmekte olup, bu türün ağaçlandırmasında başarılı olabilmek için dona dayanıklı orijinlerin tespit edilerek kullanılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Antalya ve Ankara'da tesis edilmiş kızılçam orijin denemelerinden seçilen 9 adet orijinin dona dayanıklılık düzeylerinin tespit edilmesi, farklı yetişme ortamlarında yetiştirilen aynı orijinler arasında dona dayanıklılık bakımından olası farkların belirlenmesi, orijinlerin dona dayanıklılıkları ile temsil ettikleri biyoklimatik rejyonlar arasındaki muhtemel ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Orijinlerin seçilmesi

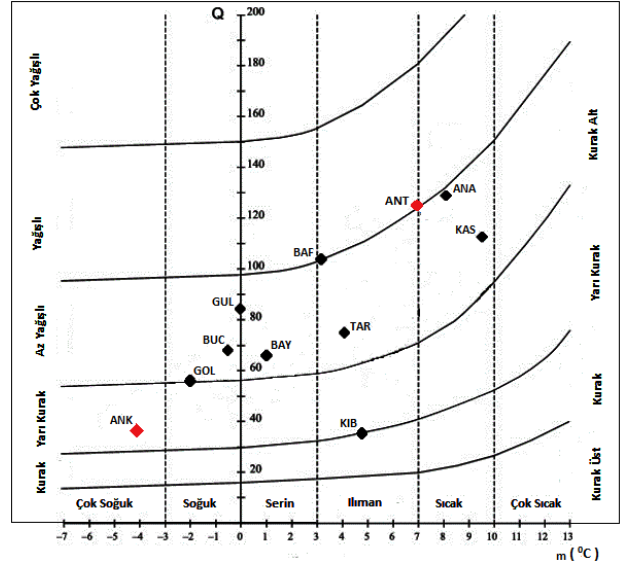
Araştırma Antalya ve Ankara'da tesis edilen kızılçam orijin denemelerinden örneklenen ve farklı biyoiklim kuşaklarını temsilen seçilen 9 farklı orijin üzerinde yürütülmüştür. Orijinlerin seçiminde, kızılçam orijin denemesi sonuçlarından da (5. 10. ve 20. yıl) faydalanılarak, daha çok soğuk alanlarda hayatta kalma yüzdesi yüksek olan orijinler tercih edilmiştir (Cengiz vd., 1999; Işık vd.,

2002; Örtel vd., 2010). Ayrıca bir adet de ılıman bölgeyi temsil eden orijin de seçilmiştir. Yine yüksek ve soğuk bölgeleri kapsayan kızılçam ağaçlandırmalarında uygulamada tercih edilen ve türün ekofizyolojisi hakkında yapılmış araştırma sonuçları ile soğuğa dayanıklılıkları belirlenmiş olan orijinlere de yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan orijinlere ait örneklerin alındığı Ankara ve Antalya orijin denemesi alanları ile 9 adet orijinin coğrafi dağılışı Şekil 1'de ve coğrafik bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Orijinin alındığı yörenin iklimini yansıtabilecek olan en yakın meteoroloji istasyonlarına ait veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Emberger Biyoiklim Sınıflandırma yöntemi esas alınarak her bir orijinin geldiği yere ve örneklenen orijin deneme alanlarına (Ankara ve Antalya) ait iklim karakteristikleri hesaplanmıştır (Akman, 1999). Orijinlere ve orijin deneme alanlarına ait Biyoiklim sınıfları ve minimum sıcaklıklar Çizelge 2'de ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan orijinler (siyah kare) ve orijin denemelerinin konumu (kırmızı kare) (Harita: Fady vd., 2003)



Şekil 2. Orijinler (siyah kare) ve orijin denemesi alanları (kırmızı kare) için iklim diyagramı (Q: Yağış-sıcaklık katsayısı; m: en soğuk ayın minimum sıcaklık ortalaması)

Çizelge 1. Kızılçam orijinlerine ve deneme alanlarına ilişkin coğrafik bilgiler

Orijin kodu	İl	İşletme-şeflik	Enlem	Boylam	Yükselti (m)
GUL	Mersin	Gülнар-Pembecik	36° 14'	33° 15'	650
BUC	Burdur	Bucak-Bucak	37° 30'	30° 41'	800
KAS	Antalya	Kaş-Lengüme	36° 24'	29° 30'	720
TAR	Mersin	Tarsus-Cehennemdere	37° 07'	34° 31'	800
BAY	Çanakkale	Bayramiç-Karaköy	39° 50'	25° 55'	400
GOL	Burdur	Göhlisar-Göhlisar	37° 04'	30° 32'	1100
BAF	Samsun	Bafra-Yakakent	41° 39'	35° 27'	100
ANA	Mersin	Anamur-Anamur	36° 05'	32° 41'	650
KIB	Lefkoşa	Kıbrıs-Güzelyurt	35° 18'	33° 03'	200
<i>Orijin denemesi alanları</i>					
	ANKARA	<i>İlyakut</i>	40° 03'	32° 28'	980
	ANTALYA	<i>Finike-Yazır</i>	36° 30'	30° 07'	950

Çizelge 2. Orijinler ve deneme alanlarının Emberger Biyoiklim Sınıflamasına göre iklim karakteristikleri

İlçesi	İstasyon adı	P (mm)	M (°C)	m (°C)	PE (mm)	Q	S	Biyoiklim zonu	Katların alt bölümleri	Min. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık Yılı
Gülнар	Gülнар	703.4	29.6	0.0	15.3	82.5	0.5	Az-yağışlı	Serin	-11.8	1985
Bucak	Bucak	651.5	32.7	-0.5	59.5	67.8	1.8	Az-yağışlı	Soğuk	-15.8	1993
Kaş	Kaş	787.4	32.5	9.5	6.3	116.3	0.2	Yağışlı	Sıcak	-1.0	2004
Tarsus	Köy hizmetleri	602.8	32.3	4.0	18.7	73.1	0.6	Az-yağışlı	Ilıman	-8.5	1964
Bayramiç	Bayramiç	590.7	31.8	0.9	42.3	66.0	1.3	Az-yağışlı	Serin	-14.5	1973
Göhlisar	Göhlisar	521.5	30.8	-2.0	47.0	55.3	1.5	Yarı-kurak	Soğuk	-20.2	1974
Bafra	Bafra	731.1	27.6	3.2	112.4	103.8	4.1	Yağışlı	Ilıman	-10.9	1973
Anamur	Anamur	951.7	33.2	8.2	6.6	129.5	0.2	Yağışlı	Sıcak	-4.8	2015
Güzelyurt	Güzelyurt	286.4	34.3	4.7	7.4	33.0	0.2	Yarı-kurak	Yumuşak	-4.8	1997
<i>Deneme alanlarına ait iklim verileri</i>											
Ankara	Sincan	367.3	30.8	-4.2	58.4	36.6	1.9	Yarı-kurak	Çok Soğuk	-24.6	1976
Antalya	Finike	961.4	34.0	7.2	11.8	122.1	0.3	Yağışlı	Sıcak	-2.2	1983

P (mm): Yıllık ortalama yağış, M (°C): En sıcak ayın maksimum sıcaklık ortalaması, m (°C): En soğuk ayın minimum sıcaklık ortalaması, Q: Yağış-sıcaklık katsayısı, PE (mm): Yaz ayları (6., 7. ve 8. aylar) yağış ortalaması, S: Yaz kuraklığı indisi, Min. Sic. (°C): Minimum sıcaklık

2.2. Don testlerinde kullanılacak sürgünlerin toplanması, dondurulması ve deneme deseni

Sürgün örnekleri, ağaçların güneye bakan kısımlarından ve tepe tacının orta bölümlerinden alınmıştır. Üzerinde 20-30 adet iğne yaprak bulunan 1 yaşındaki sürgünler teleskobik budama makası yardımıyla ağaçlardan toplanmış ve plastik torbalara konulmuştur. Plastik torbalara konulan sürgünler, su kaybını azaltmak için buz kutuları içerisinde, en kısa sürede laboratuvara taşınmıştır.

Laboratuvara getirilen sürgünler dona dayanıklılık testi öncesinde, soğuğa uyum için 48 saat süreyle +4 °C'de bekletilmiştir. Dona dayanıklılık testleri 21 Ocak-07 Şubat 2016 tarih aralığında yapılmıştır. Sürgünler, kontrol grubu (+4 °C) yanında on farklı düşük sıcaklık kademesine (-5, -10, -12.5, -15, -17.5, -20, -22.5, -25, -30 ve -40 °C) maruz bırakılmıştır.

Dona dayanıklılık testlerinde Faktöriyel Deneme Desenlerinden Tesadüf Parselleri Deneme Deseni kullanılmıştır. Deneyler, 9 orijine ait sürgünler kullanılarak, 10 tekrarlı yürütülmüştür. Buna göre toplam 1800 (9 orijin × 10 tekrar × 10 sıcaklık kademesi × 2 deneme alanı) adet örnek dondurulmuştur. Dondurma işlemi öncesi sürgünler 13×18 cm ebatlarındaki ağzı kilitlenir plastik poşetlere konulmuş, hücreler arası buz oluşumunu sağlamak ve örneklerin kurummasını önlemek için üzerlerine 10 ml civarında saf su püskürtülerek ıslatılmış ve poşetler içlerindeki sürgünler dondurulmak üzere soğutucu kabine yerleştirilmiştir. Başlangıçta oda sıcaklığında olan soğutucu kabinin sıcaklığı kademeli olarak (saatte 5 °C) azaltılarak, hedeflenen sıcaklık kademesine ulaşılmıştır. Daha sonra örnekler hedeflenen sıcaklık kademesinde 5 saat süresince bekletilmiştir. Ardından dondurulan örnekler yine kademeli olarak ısıtılarak (saatte 5 °C) tekrar oda sıcaklığına getirilmiştir (Ritchie, 1984; Burr vd., 2001).

2.3. Düşük sıcaklıklar sonrası sürgünlerde meydana gelen zararın belirlenmesi

Dona dayanıklılık testleri sonrasında sürgünlerde oluşan don zararı iyon sızıntısı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Glerum, 1985; Burr, 1990; Sutinen, vd., 1992). Bu amaçla, her sıcaklık kademesinde dondurulan ve kontrol grubundaki sürgünlerin orta kısmından ibreler alınmıştır. Bu ibrelerin orta kısımlarından 1 cm boyunda segmentler kesilerek cam tüplere konulmuştur. Her tüpe 20 adet kesilmiş ibre segmenti konulmuş, üzerlerine 15 ml saf su ilave edilerek tüpler çalkalayıcıya yerleştirilmiştir. Tüpler oda sıcaklığında 20 saat süre ile 100 rpm'de çalkalanmıştır. Ardından tüplerde, kondüktivimetre kullanılarak ilk iletkenlik okumaları yapılmıştır. Daha sonra tüpler 1 saat süreyle 121 °C'de otoklavlanmış ve sonrasında kondüktivimetre ile son iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Kondüktivimetre okumaları kullanılarak kontrol gruplarına ait nispi iletkenlik (RC kontrol) ve dondurulmuş gruplara ait nispi iletkenlik (RC donmuş) değerleri hesaplanmıştır. Oluşan zararın oranı, nispi iletkenlik değerleri kullanılarak, Flint ve arkadaşlarının (1967) önerdiği yaralanma indeksi formülüne göre hesaplanmıştır (Glerum, 1985). Yaralanma indeksi (I_t) hesabında kullanılan formül aşağıdaki gibidir:

$$RC_{\text{kontrol}} = (\text{İlk okuma/Son okuma}) \times 100 \quad (1)$$

$$RC_{\text{donmuş}} = (\text{İlk okuma/Son okuma}) \times 100 \quad (2)$$

$$I_t = ((RC_{\text{donmuş}} - RC_{\text{kontrol}}) / (1 - (RC_{\text{kontrol}}/100))) \times 100 \quad (3)$$

2.4. İstatistiksel analizler

Verilerin normal dağılım kontrolü Anderson-Darling testi ile, varyansların homojenlik kontrolü ise Bartlett testi ile yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde üç yönlü varyans analizi (three-way ANOVA) kullanılmış ve farklı ortalamalar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Tukey testi sonuçları ortalamaların yanında harfli gösterim şeklinde ifade edilmiştir. Hesaplamalarda ve yorumlamalarda önem düzeyi %5 olarak alınmıştır. Analizlerde SPSS v24 istatistik paket programı kullanılmıştır.

3. Bulgular

Nispi yaralanma indeksine (I_t) ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3 incelendiğinde; I_t için yapılan varyans analizi sonucunda tüm faktörlerin ve bunların interaksyonlarının istatistiki olarak önemli olduğu (p<0.001) belirlenmiştir. Buna uygun olarak yapılan Tukey testi sonuçları Çizelge 4'te ortalamaların yanında harfli gösterim şeklinde ifade edilmiştir.

Antalya lokasyonunda, ANA orijinine ait -5, -10 ve -12.5 °C'deki nisbi yaralanma miktarları (I_t) arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p>0.05), ancak -15 °C'de farklılaşma başlamaktadır (Çizelge 4). Antalya lokasyonunda, BAF orijinine ait -5, -10, -12.5, -15 ve -17.5 °C'deki nisbi yaralanma miktarları (I_t) arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p>0.05) ancak -20 °C'de farklılaşma başlamaktadır (Çizelge 4). Antalya lokasyonunda diğer orijinlerde bu iki orijine benzer şekilde reaksiyon vermiştir. Bu nedenle Antalya lokasyonunda, orijinler arasında farklılıklar olmakla birlikte, genel olarak kızılçamda tamiri mümkün don zararının -15 ile -17.5 °C derecede başladığı anlaşılmaktadır (Şekil 4).

Çizelge 3. I_t değişkenine ilişkin varyans analizi tablosu

Varyasyon kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F-değeri	P-değeri
Lokasyon (L)	1	9870	9870	146.81	0.000
Sıcaklık (S)	9	1457486	161943	2408.83	0.000
Orijin (O)	8	7760	970	14.43	0.000
L×S	9	5027	559	8.31	0.000
L×O	8	8021	1003	14.91	0.000
S×O	72	11600	161	2.40	0.000
L×S×O	72	15515	215	3.21	0.000
Hata	1604	107835	67		
Genel	1783	1623114	1.9679		

Çizelge 4. Ankara ve Antalya'daki orijin denemelerinden örneklenen 9 kızılçam orijininin farklı sıcaklık kademelerindeki yaralanma indeksi (I_t) değerleri ve bunlara ait Tukey testi sonuçları

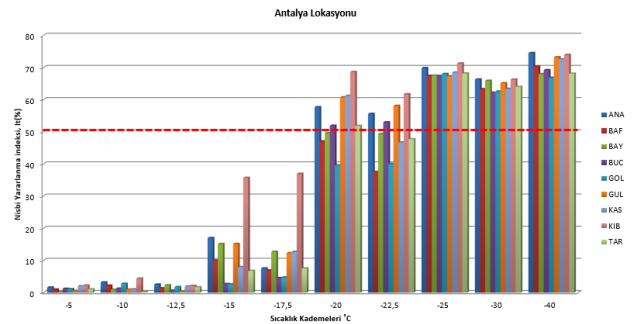
Lok. Orij.	Sıcaklık (°C)										
	-5	-10	-12.5	-15	-17.5	-20	-22.5	-25	-30	-40	
Antalya (Yazın)	ANA	1.6±0.7 Da ^A	3.2±0.6 Da ^A	2.5±0.9 Da ^A	17.0±4.3 Cb ^A	7.6±1.8 CD ^B	57.7±5.8 Babc ^A	55.6±2.6 Bab ^A	69.9±1.1 Aa ^A	66.3±2.2 ABa ^A	74.5±1.6 Aa ^A
	BAF	1.0±0.4 Ca ^A	2.2±0.4 Ca ^A	1.4±0.5 Ca ^A	10.0±3.4 Cbc ^A	6.9±1.0 Cb ^A	47.1±5.3 Bcd ^A	37.5±3.8 Bc ^B	67.4±1.8 Aa ^A	63.3±1.0 Aa ^A	70.3±0.6 Aa ^A
	BAY	0.1±0.5 Ea ^A	0.9±0.7 DEa ^A	2.3±0.7 DEa ^A	15.2±3.9 Cb ^A	12.7±2.7 CD ^B	49.7±4.0 Bbcd ^A	49.4±3.3 Bbc ^A	67.5±1.7 Aa ^A	65.9±1.7 Aa ^A	68.0±2.4 Aa ^A
	BUC	1.2±0.9 Ca ^A	1.3±1.8 Ca ^A	0.7±1.1 Ca ^A	2.7±0.9 Ce ^A	4.6±1.3 Cb ^A	51.9±4.8 Bbc ^A	53.0±2.8 Bab ^A	67.4±2.7 Aa ^A	62.2±3.2 ABa ^A	69.2±1.4 Aa ^A
	GOL	1.1±0.8 Ca ^A	2.8±1.1 Ca ^A	1.7±0.9 Ca ^A	2.6±0.6 Cc ^A	4.8±1.2 Cb ^A	39.6±3.7 Bd ^A	40.1±2.6 Bc ^A	68.0±3.1 Aa ^A	62.6±1.153Aa ^A	66.9±1.3 Aa ^A
	GUL	0.5±1.0 DEa ^A	0.9±0.2 Ea ^A	0.4±0.9 Ea ^A	15.2±4.6 Cb ^A	12.3±2.4 CD ^B	60.8±3.9 Bab ^A	58.1±2.8 Bab ^A	67.3±1.4 ABa ^A	65.1±1.3 ABa ^A	73.2±1.9 Aa ^A
	KAS	1.9±0.6 Ca ^A	1.0±0.6 Ca ^A	2.0±0.9 Ca ^A	8.0±2.9 Cbc ^A	12.7±3.0 Cb ^A	61.2±5.2 Aab ^A	46.8±2.8 Bbc ^A	68.5±2.6 Aa ^A	63.4±1.1 Aa ^A	72.6±2.9 Aa ^A
	KIB	2.2±1.5 Da ^A	4.4±1.7 Da ^A	2.1±0.9 Da ^A	35.7±8.9 Ca ^A	37.0±8.7 Ca ^A	68.6±2.4 ABa ^A	61.7±1.8 Ba ^A	71.3±1.0 ABa ^A	66.3±1.8 ABa ^A	74.0±1.4 Aa ^A
	TAR	1.1±0.7 Ca ^A	0.3±0.8 Ca ^A	1.7±0.7 Ca ^A	6.8±1.9 Cbc ^A	7.6±1.8 Cb ^A	51.9±3.9 Bbc ^A	47.8±4.8 Bbc ^A	68.2±1.6 Aa ^A	64.0±1.9 Aa ^A	68.1±2.1 Aa ^A
Ankara (İlyakut)	ANA	0.5±1.1 Ca ^A	0.6±0.6 Ca ^A	1.7±0.9 Ca ^A	4.9±2.9 Ca ^B	5.0±2.8 Ca ^A	53.1±4.5 Ba ^A	46.0±4.4 Ba ^A	57.3±3.5 ABa ^B	52.4±4.0 Bb ^B	65.3±3.1 Aa ^A
	BAF	0.6±0.7 Ca ^A	0.8±1.0 Ca ^A	1.1±1.5 Ca ^A	2.4±1.3 Ca ^A	6.3±3.2 Ca ^A	56.6±1.2 ABa ^A	53.1±2.9 Ba ^A	62.1±1.5 ABa ^A	62.1±1.3 ABab ^A	66.9±5.8 Aa ^A
	BAY	2.9±0.9 Da ^A	3.7±0.6 Da ^A	2.3±0.8 Da ^A	2.0±0.5 Da ^B	3.4±0.9 Da ^B	48.8±4.5 Cab ^A	49.7±4.9 Ca ^A	63.8±1.1 Ba ^A	63.3±0.8 Bab ^A	76.2±0.7 Aa ^A
	BUC	0.1±0.9 Ca ^A	1.1±1.1 Ca ^A	0.5±1.1 Ca ^A	0.7±0.9 Ca ^A	4.2±1.8 Ca ^A	51.7±3.1 Bab ^A	49.4±2.0 Ba ^A	60.9±2.6 ABa ^A	60.1±0.6 Bab ^A	72.6±1.6 Aa ^A
	GOL	0.9±0.9 Ea ^A	1.4±0.8 Ea ^A	1.5±1.3 Ea ^A	2.1±1.3 Ea ^A	3.9±1.7 Ea ^A	29.7±3.5 Dc ^A	43.7±2.1 Cab ^A	58.1±2.4 ABa ^A	57.1±1.6 Bab ^A	69.6±1.5 Aa ^A
	GUL	2.1±1.4 Da ^A	0.3±1.5 Da ^A	1.7±0.5 Da ^A	4.2±4.3 Da ^A	3.9±0.5 Da ^B	54.9±4.9 Ba ^A	41.4±5.6 Cab ^B	64.3±2.3 ABa ^A	62.4±2.1 ABab ^A	70.7±1.9 Aa ^A
	KAS	1.3±0.9 Da ^A	2.7±0.9 Da ^A	2.6±1.3 Da ^A	3.5±1.8 Da ^A	4.3±1.0 Da ^B	36.7±5.2 Cc ^B	41.6±3.8 Cab ^A	59.5±2.2 ABa ^A	55.4±2.3 Bab ^A	67.8±1.8 Aa ^A
	KIB	1.4±0.9 Ca ^A	1.5±0.7 Ca ^A	1.3±0.6 Ca ^A	1.8±0.6 Ca ^B	3.0±0.6 Ca ^B	40.1±5.3 Bbc ^B	31.9±5.3 Bb ^B	64.7±1.8 Aa ^A	64.2±2.4 Aa ^A	73.5±2.5 Aa ^A
	TAR	0.6±1.3 Ca ^A	0.4±0.9 Ca ^A	1.6±0.6 Ca ^A	3.1±1.6 Ca ^A	3.0±1.6 Ca ^A	50.9±3.7 Bbc ^A	50.2±3.8 Ba ^A	61.0±1.2 Bab ^A	59.6±1.1 Bab ^A	73.1±1.7 Aa ^A

Ortalama±Standart Hata, aynı satırdaki büyük harfler, aynı lokasyonda ve farklı sıcaklık kademelerinde orijinlerin kendi içindeki farklı grupları göstermektedir, aynı sütundaki küçük harfler, aynı lokasyonda ve aynı sıcaklık kademesinde orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir, aynı sütundaki üssel büyük harfler, aynı orijin ve aynı sıcaklık kademesinde lokasyonlar arasındaki farklı grupları göstermektedir.

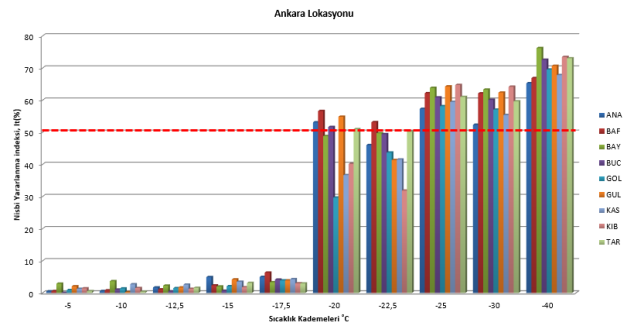
Antalya lokasyonundan alınan örnekler, -20 °C düşük sıcaklıkta dondurulduğunda orijinlerin I_t değerleri, -15 °C'deki yaralanma yüzdesine kıyasla aniden artmaktadır. Bu ani artış, orijine göre değişimle birlikte, 2-12 kat arasındadır. Örneğin ANA orijininde -12.5 °C'den -15 °C sıcaklığa düşüldüğünde I_t değerinde istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bir artış meydana gelirken, -15 °C'den -17.5 °C'ye gelindiğinde oluşan değişiklik istatistiksel anlamda önemli değildir. Fakat -20 °C sıcaklıkta ani bir artışla (8 kat) I_t değeri -17.5 derecedeki düzeyinden önemli farklılık göstermiştir ($p<0.05$). I_t -25 °C ve üzerinde en yüksek düzeyine ulaşmış ve değeri ise -40 °C sıcaklığa kadar değişim göstermemiştir ($p>0.05$). Antalya lokasyonunda, hemen hemen benzer durumun diğer orijinlerde de söz konusu olduğu görülmektedir (Çizelge 4, Şekil 4). I_t değerinin -20 °C'de aniden 8 kat artması ve yaralanmanın %50'nin üzerine çıkışı, kızılçam ibrelerinde tamir edilemeyecek düzeyde ciddi don zararının bu sıcaklıkta başladığını göstermektedir (Şekil 4). Ankara lokasyonundan alınan örnekler de benzer bir trend sergilemiştir (Çizelge 4, Şekil 5). Bu sonuçlardan kızılçamda ölümcül don zararının -20 °C düşük sıcaklıkta başladığı anlaşılmaktadır (Şekil 6).

Çalışılan orijinlerin tamamında I_t indeksinin -5, -10 ve -12.5 °C sıcaklıklarda lokasyonlar arasındaki farkı önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Ancak -15 °C'den sonraki sıcaklık kademelerinde bazı orijinlerde lokasyonlar arasında farklılıklar oluşmaya başlamıştır. Örneğin, -17.5 °C'de GUL, KAS ve KIB orijinlerinde Antalya lokasyonunun I_t ortalamaları istatistiksel olarak önemli derecede Ankara (İlyakut) lokasyonundan daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Bu durum -17.5 °C'de dondurulduklarında Ankara lokasyonundan GUL, KAS ve KIB orijinlerinden alınan örneklerin Antalya lokasyonundan alınan örneklerle kıyasla dona daha dayanıklı olduklarını göstermekte olup, nispeten soğuk olan Ankara lokasyonunda bu üç orijinin dona uyum yeteneklerini arttırdıklarını göstermektedir. Benzer şekilde -20 °C'de KAS ve KIB orijinlerinde Antalya lokasyonunun I_t ortalamaları istatistiksel olarak önemli derecede Ankara (İlyakut) lokasyonundan yüksek

bulunmuştur ($p<0.05$). -25 ve -30 °C'de ise ANA orijininde Antalya lokasyonunun I_t ortalamaları istatistiksel olarak önemli derecede Ankara lokasyonundan yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Buradan hareketle GUL, KAS, KIB ve ANA orijinlerinin Ankara deneme alanında, Antalya lokasyonuna göre, dona daha dayanıklı hale geldikleri söylenebilir (Çizelge 4). Bu orijinler gösterdikleri fenotipik esneklik sayesinde dona dayanıklılıklarını arttırabilmişlerdir.



Şekil 4. Antalya lokasyonundan alınan örneklerde oluşan don zararı



Şekil 5. Ankara lokasyonundan alınan örneklerde oluşan don zararı



Şekil 6. Kızılçamda bazı sıcaklık kademelerindeki görsel don zararı

Çizelge 4 incelendiğinde; Antalya lokasyonundan alınan ibre örneklerinde önemli zarar olarak nitelenen %50 ve üzerindeki ölümün genel olarak -20°C 'de başladığı görülmektedir. Fakat BAF ve GOL orijinlerinde önemli don zararının ise -25°C 'de başladığı görülmektedir. Bu nedenle Antalya lokasyonundaki orijinlerin dona dayanıklılık düzeyleri dikkate alındığında BAF ve GOL orijinlerinin diğer orijinlerden dona daha dayanıklı oldukları görülmektedir. Ankara lokasyonundan alınan örneklerde ise don zararının genelde -20°C 'de başladığı görülmekte, fakat BAY orijini bu zarar -22.5°C 'de ve GOL, KAS ve KIB orijinlerinde ise -25°C 'de başlamaktadır (Çizelge 4). Bu nedenle Ankara lokasyonunda GOL, KAS ve KIB orijinleri diğer orijinlerden dona daha dayanıklı olarak nitelenebilir. Her ne kadar uygulanan tek yönlü varyans analizi sonuçları bu şekilde yorumlansa da, sonuçlarda ikili ve üçlü interaksyonların etkili olduğu da unutulmamalıdır.

4. Tartışma ve sonuç

Beklendiği gibi, çalışmada sıcaklık düştükçe, stres fizyolojisi genel kuralına uygun olarak, yaralanma indeksi oranı artmıştır. Stresin şiddeti arttıkça oluşan zarar miktarı da artmıştır (Glerum, 1985; Burr, 1990; Sutinen vd., 1992).

Amerikan Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından 11 adet dona dayanıklılık zonundan oluşan bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre, kızılçam Zon 7'de yer almakta ve -12.2 ile -17.7°C arasında ortalama aylık minimum sıcaklığa sahip alanlarda yayılış gösterdiği ifade edilmiştir (Bannister ve Neuener, 2001). Yine Atalay vd. (1998), Akdeniz ardında kızılçamın yayılış gösterdiği alanlarda sıcaklıkların -17.8°C 'e kadar düşebileceğini belirtmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar yukarıdaki ifadeleri desteklemektedir.

Çalışmamızda, orijinler arasında farklılıklar olmakla birlikte, genel olarak kızılçamda tamiri mümkün don zararının -15 ile -17.5°C derece, ölümcül olan zararın ise -20°C başladığı görülmüştür. Yıldız vd. (2014) ise 24, 28 ve 32 haftalık kızılçam fidanlarına -5 , -10 , -15 ve -20°C 'lik sıcaklıklarda yaptıkları çalışmada sıcaklığın -15°C ve altına düştüğünde zararın başladığını belirtmişlerdir. Bizim çalışmamız ile bu çalışma arasında deney koşulları, kullanılan bitki materyalinin yetiştirilme tekniği (sulama ve gübreleme gibi), kullanılan organlar (gövde ve yaprak) ve dondurulan organların yaşları farklı olmasına rağmen her iki çalışmanın da -15°C 'de zararın başladığının bulunmuş olması, bu iki araştırmanın ortak noktalarıdır. Benzer şekilde, Kandemir vd., (2008), Ankara'da yetiştirdikleri 2 yaşındaki kızılçam fidanlarının -15.2°C 'lik sıcaklıklarda zarar gördüğünü tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan orijinler 30 yıl önce Ankara ve Antalya'daki deneme alanlarına dikilmiş olmalarına rağmen, Ankara deneme alanındaki bazı orijinlerin bazı düşük sıcaklık kademelerinde, dona Antalya alanındakilerden daha dayanıklı olduğu görülmüş olup, bu durumla orijinlerin buldukları ortamdaki soğuklara adapte olabilmek için fenotipik plastisite geliştirdikleri anlaşılmaktadır.

Kandemir vd. (2008), Alanya, Yaylaalan, Çalkaya, Fethiye, Gölhisar ve Çameli orijinli Kızılçam fidanlarını Ankara'da bir bahçede (doğal ortamda) toplamışlar ve fidanlar burada şubat ayında -15.2°C sıcaklığa maruz kalmışlardır. Daha sonra yaptıkları görsel değerlendirme ve F_v/F_m ölçümleri sonucunda popülasyonlar arasında dona dayanıklılık bakımından farklar olduğunu; özellikle daha yüksek ve iç kesimlerden gelen Gölhisar ve Çameli popülasyonlarının düşük sıcaklığa daha dayanıklı olduğunu tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamızda da Gölhisar orijinin diğerlerine kıyasla daha dayanıklı olarak bulunması bu çalışmanın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Gölhisar orijinin daha dayanıklı olmasındaki önemli bir etken, bu orijinin yayılış gösterdiği alanda diğer orijinlere kıyasla daha düşük sıcaklıklarla karşılaşması olabilir. Bu orijin biyoiklim olarak yarı kurak katın soğuk alt katında yetişmekte ve doğal yayılış alanında -20.2°C 'lik bir donda dahi hayatını sürdürmektedir (Çizelge 2). Yine Yıldız vd., (2014) tarafından kızılçamda yapılan çalışmada Burdur-Gölhisar, K. Maraş-Suçatı, Denizli-Çameli ve Antalya-Gündoğmuş orijinleri kıyaslanmış ve sonuçta 24 haftalık fidanlarda -20°C 'de Gölhisar ve Gündoğmuş orijinlerinin daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Kızılçam türünde don zararı genel olarak -15°C ve altındaki düşük sıcaklıklarda başlamakta, ölümcül zarar ise -20°C 'de başlamaktadır. Tür içinde dona dayanıklılık bakımından orijinler arasında bir varyasyon bulunmaktadır. Bu varyasyon nedeniyle, dona daha dayanıklı bazı orijinlerde ölümcül zararın -25°C 'de başladığı söylenebilir.

Ankara lokasyonundaki bazı kızılçam orijinleri yöredeki uzun dönem iklim koşulları da dikkate alındığında dona dayanıklılıklarını az da olsa arttırmışlardır. Bu nedenle kızılçam türünün bazı orijinlerinin dona dayanıklılık bakımından yüksek bir fenotipik plastisiteye sahip olduğu belirtilebilir.

Antalya lokasyonundaki GOL ve BAF orijinlerinin, kullanılan diğer orijinlerden dona daha dayanıklı oldukları

belirlenmiştir. Ankara lokasyonunda ise sırası ile GOL, KAS ve KIB orijinleri diğer orijinlerden daha dayanıklı olarak tespit edilmiştir. GOL orijininin her iki deneme alanında da donaya dayanıklılık bakımından stabil olması, söz konusu orijinin temsil ettiği biyoiklim zonu iklim özelliklerini yansıttığını göstermektedir. Daha ılıman ve düşük yükseklikten gelen Kaş ve Kıbrıs orijinlerinin donaya dayanıklılıkları konusunda ise ihtiyatlı olunmalıdır. Sonuçların uygulamada kullanılabilmesi ve genellemesi için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Açıklama

Bu çalışma Orman Genel Müdürlüğü İç Anadolu Ormanlık Araştırma Enstitüsünde araştırma projesi olarak desteklenmiştir (Proje no: 23.1613/2014-2016). Ayrıca çalışmanın sonuçları "Climate Change and Tree Migration - International Forestry and Environment Symposium (IFS2018)" isimli sempozyumunda sözlü olarak sunulmuş ve özet metni bildiri kitabında yayınlanmıştır. Kurumsal katkılara çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akman, Y., 1999. İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri). Kariyer Matbaacılık. Ankara.
- OGM, 2015. Türkiye Orman Varlığı. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1-2016-2017.pdf>, Erişim: 05.05.2018.
- Atalay, İ., Sezer, İ., Çukur, H., 1998. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Ormanlarının Ekolojik Özellikleri ve Tohum Nakli Açısından Bölgelere Ayrılması. Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü, Yayın No:6, İzmir.
- Bannister, P., Neuener, G., 2001. Conifer cold hardiness. In: Frost Resistance and The Distribution of Conifers, (Ed: Bigras, F. J., Colombo, S. J.), Kluwer Academic Publishers, pp. 3-21.
- Boydak, M., Dirik, H., Çalikoğlu, M., 2006. Kızılcımın (*Pinus brutia* Ten.) Biyolojisi ve Silvikültürü. Ormanlılığı Geliştirme ve Orman Yangınları ile Mücadele Hizmetlerini Destekleme Vakfı Yayını, Lazer Ofset Matbaası, Ankara.
- Burr, K. E., 1990. Bud dormancy and cold hardiness. Target Seedling Symposium, 13-17 August, Roseburg, Oregon-USA, pp.79-90.
- Burr, K. E., Hawkins, C. D. B., Hirondele, S. J. L., Binder, W. D., George, F. M.; Repo, T., 2001. Methods for measuring cold hardiness of conifers. In: Conifer Cold Hardiness (Ed: Bigras, F. J., Colombo, S. J.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 369-401.
- Çalikoğlu, M., 2002. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Orijinlerinin Kuraklığa Karşı Reaksiyonlarının Ekofizyolojik Analizi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cengiz, Y., Işık, F., Keskin, S., Genç, A., Tosun, S., Aksoy, C., Doğan, B., Uğurlu, S., Özpaya, Z., Örtel, E., Gürgeç, D., Uğurlu, S., 1999. Kızılcım (*Pinus brutia*) Orijin Denemelerinin Beş Yıllık Sonuçlar. Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten Serisi, No: 11, Antalya.
- Colombo, S.J., Webb, D.P., Glerum, C., 1984. Frost hardiness testing: An operational manual for use with extended greenhouse culture. Ontario Ministry of Natural Resources, Tree Improvement and Forest Biomass Institute Forest Research Report No: 110, Toronto.

- Dirik, H., 2000. Farklı biyoiklim kuşaklarını temsil eden kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) orijinlerinin kurak dönemdeki su potansiyellerinin basınç-hacim (PV) eğrisi ile analizi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 50A (2): 93-103.
- Fady, B., Semerci, H., Vendramin, G.G., 2003. Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use for Aleppo Pine (*Pinus halepensis*) and Brutia Pine (*Pinus brutia*). International Plant Genetic Resources Institute, http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_new/Aleppo_pine_Pinus_halepensis_and_Brutia_pine_Pinus_brutia_858.pdf, Accessed: 16.04.2019.
- 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 Journal of Plant Science, 47: 229-230.
- Glerum, C., 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings. In: Principles and Applications: Evaluating seedling quality, (Ed: Duryea, M. L.), Corvallis, pp. 107-123.
- Hawkins, B. J., Guest, H. J., Kolotelo D., 2003. Freezing tolerance of conifer seeds and germinants. Tree Physiology 23: 1237-1246.
- Hirondele L. S. J., Simpson D. G., Binder, W. D., 2006. Overwinter storability of conifer planting stock, Operational testing of fall frost hardiness. New Forests, 32: 307-321.
- Işık, F., Cengiz, Y., Genç, A., Doğan, B., Tosun, S., Özpaya, Z., Uğurlu, S., Örtel, E., Dağdaş, S., Karatay, H., Yoldağ, G. 2002. Kızılcım Orijin Denemelerinin 10 Yıllık Sonuçları. Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten Serisi, No: 14, Antalya.
- İmal, B., 2015. Bazı Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) orijinlerinin donaya ve kuraklığa karşı dayanıklılıklarının ekofizyolojik olarak belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kandemir, G. E., 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.
- Matyas, C., 1996. Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. Euphytica. 92: 45-54 pp.
- Örtel, E., Çalikoğlu, M., Çetinay, Ş., Altun, Z.G., Cengiz, Y., Boza, A., Türker, H., Kahraman, T., Gökdemir, Ş., Tosun, S., Arslan, Özpaya, Z., Karatay, H., Karzaoğlu, C., 2010. Kızılcım (*Pinus brutia* L.) Orijin Denemelerinin 20. Yıl Sonuçları. Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten Serisi, No: 35, Antalya.
- Öztürk, N., Deligöz, A., 2018. Farklı tohum bahçelerine ait kızılçam (*Pinus brutia*) fidanlarının bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2): 924-931.
- Ritchie, G. A., 1984. Assessing seedling quality. In: Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings (Ed: Duryea, M. L., Landis, T. D.), Martinus Nijhoff /Dr. W. Junk Publishers, pp. 243-259.
- Sutinen, M-L., Palta, J. P., Reich, P. B., 1992. Seasonal differences in freezing stress resistance of needles of *Pinus nigra* and *Pinus resinosa*: evaluation of the electrolyte leakage method. Tree Physiology, 11: 241-254.
- Yalçın, S., 2012. Modeling the current and future ranges of Turkish Pine (*Pinus brutia*) and Oriental Beech (*Fagus orientalis*) in Turkey in the face of climate. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldız, D., Nzokou, P., Deligöz, A., Koç, İ., Genç, M., 2014. Chemical and physiological responses of four Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances to cold temperature treatments. European Journal of Forest Research, 133(5): 809-818.