

## Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* J.F. Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] tohumlarında polietilen glikol ile erken kuraklık testi

Eda Demir<sup>a</sup>, Bora İmal<sup>b,\*</sup>

**Özet:** Bu çalışmada, Anadolu Karaçamı orijinlerinde farklı su stresi seviyelerinin çimlenmeye etkisi araştırılarak kuraklığa dayanıklı orijinleri tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmada, su stresi seviyeleri Polietilen glikol (PEG)-6000 solüsyonu kullanarak 0 ile -0.8 MPa arasında oluşturulmuş ve ardından çimlenme testleri gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonunda; su stresi seviyesi arttığında, çimlenme değerlerinin azaldığı anlaşılmış; bu değerler bakımından orijinler arasında önemli farklılıkların bulunduğu, istatistiksel olarak da teyit edilmiştir. Buna göre, daha az yağışlı bölgeleri temsil eden, Nallıhan, K. Hamam, Çerkeş ve M.K. Paşa orijinlerinin -0.6 ve -0.8 MPa su stresi seviyelerine kadar yüksek oranda çimlenme değerleri gösterdiği saptanmıştır. Bu bağlamda söz konusu orijinlerin kuraklığa daha dayanıklı oldukları kanısına varılmıştır. Bu bulgular, Anadolu karaçamında kuraklığa dayanıklılık bakımından tür içi bir varyasyon olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, kuraklığa daha dayanıklı olduğu tespit edilen orijinlerin yarı kurak bölge ağaçlandırmalarında kullanılması başarıyı arttırabilir.

**Anahtar kelimeler:** Çimlenme, Kuraklığa dayanıklılık, Orijin, PEG, Anadolu karaçamı, Su stresi

## Early drought test with polyethylene glycol in Anatolian black pine [*Pinus nigra* J.F. Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] seeds

**Abstract:** In this study, it was aimed to investigate the impact of water stress on germination and determine drought tolerant provenances in different Anatolian Black Pine provenances. Levels of water stress between 0 and -0.8 MPa were applied by using solution of PEG-6000 and germination tests were carried out. Our results revealed that germination values significantly decreased with increasing water stress level among provenances. Accordingly, Nallıhan, K. Hamam, Çerkeş and M.K. Paşa provenances, which represent regions with lower rainfall, had higher germination values up to -0.6 and -0.8 MPa water stress levels compared to other provenances. In this respect, mentioned provenances were found to be more resistant to drought. This result shows that there are variations within species in Anatolian Black Pine in terms of drought tolerances. Using provenances, which are determined to be drought-tolerant in this study, can increase afforestation success in semi-arid regions.

**Keywords:** Germination, Drought resistance, Provenance, PEG, Anatolian Black Pine, Water stress

### 1. Giriş

Türkiye ormancılığında ağaç türleri bakımından önemli bir yer teşkil eden Anadolu karaçamı ülkemizde Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri hariç tüm bölgelerimizde yayılış göstermekte ve toplam 4.35 milyon ha. ılık bir alan kaplamaktadır (Alptekin, 1986; OGM, 2019). Meşe türlerinden sonra ülkemizde stebe en fazla giren tür olup (Uslu, 1959; Saatçioğlu, 1976) biyoklimatik bakımdan yarı nemli, yarıkurak ve soğuk iklim koşullarında yer almaktadır (Dirik, 1999; Çalikoğlu, 2002; İmal 2015). Aynı zamanda Anadolu karaçamı ülkemiz ağaçlandırmalarında kızılçamdan sonra en büyük paya sahip doğal türümüzdür (2009 yılı sonuna kadar 488.379 ha) (Atalay ve Efe, 2010; Ertekin ve Özel, 2010). Özellikle son yıllarda Karaçam ağaçlandırmaları hem doğal yayılış alanı içinde hem de doğal yayılış alanı dışında, soğuk ve kuraklık etkisinin de aralarında bulunduğu alanlarda kapsamlı bir şekilde yürütülmektedir (Konukçu, 2001; Atalay ve Efe, 2010). Söz

konusu alanlarda don ve kuraklık stresi ağaçlandırma çalışmalarının başarısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen faktörlerden birisi de stres durumudur. Bitkiler üzerinde olumsuz bir etki oluşturan dışsal bir etmen veya bitkilerin gelişim ve verimliliklerini negatif yönde etkileyen çevre faktörleri kısaca stres olarak adlandırılmaktadır (Kramer, 1983; Kozłowski ve Pallardy, 1996; Larcher, 2003; Özen ve Onay, 2007). Kaynağına göre stresler biyotik (böcek, mantar, vb) ve abiyotik (don, kuraklık, tuzluluk) stresler olarak iki grupta incelenmektedir. Yapılan araştırmalarda dünya karalarının yaklaşık %28'lik kısmında kuraklık, %24'ünde sıg topraklar, %23'ünde bitki besin maddesi eksikliği veya fazlalığı ve %16'lık kısmında ise don stresinin, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Kramer ve Boyer, 1995; Semerci vd., 2008; Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005). Söz konusu stres faktörlerinden kuraklık bitkilerde özellikle tohumun

✉ <sup>a</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankırı

<sup>b</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Silvikültür Anabilim Dalı, Çankırı

@ \* **Corresponding author** (İletişim yazarı): bimal@karatekin.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 28.10.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 08.06.2021



**Citation** (Atıf): Demir, E., İmal, B., 2021. Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* J.F. Arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] tohumlarında polietilen glikol ile erken kuraklık testi. Turkish Journal of Forestry, 22(2): 65-72. DOI: [10.18182/tjf.817212](https://doi.org/10.18182/tjf.817212)

çimlenme aşaması ve fidan aşamasında daha olumsuz koşullar yaratabilmektedir.

Tohumun çimlenmesi, bitkinin yaşam döngüsünde en önemli aşamalardan birisi olup bu dönemde çevre koşullarına oldukça duyarlıdır. Tuz ve kuraklık stresleri gibi abiyotik faktörler, tohum çimlenmesini ve fide büyümesini sınırlayan en önemli abiyotik streslerden ikisidir (Keshavarzi, 2012; Shitole ve Dhubal, 2012). Toprakta sağlanan su, çimlenme ve fidan gelişimini kontrol eden önemli bir çevresel faktördür (Kramer ve Kozlowski, 1979; Bradford vd., 1992; Boydak vd., 2003). Çeşitli faktörlerin etkisi ile oluşan su stresi sonucu tohum bünyesine su alınması güçleşmekte ve tohumların çimlenme yüzdesi ile çimlenme hızları düşerek tohum gücü olumsuz yönde etkilenmektedir (Leviit, 1972; Çalikoğlu ve Tilki, 2002).

Ağaç türlerine ve orijinlerine ait tohumların su stresi altında çimlenmeye karşı göstermiş oldukları tutumlar farklılık göstermektedir. Ekolojik açıdan önem taşıyan bu durumda, söz konusu bu farklılıkların ortaya konarak, ağaç türlerinin kuraklık stresine dayanıklılıklarının ve türlerin kendi orijinleri içinde nasıl bir varyasyon gösterdiğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Larcher, 2003).

Yukarıda sözü edilen stres faktörlerinden kuraklık stresi özellikle kurak ve yarıkurak bölgelerde etkisini daha şiddetli olarak hissettirmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’de yarıkurak alanlar 31 milyon hektarlık bir alana sahip olup ülke alanının %37’si yarıkurak iklim tipinin etkisi altındadır (Zoralioğlu, 1990; Ürgenç, 1998; Çalikoğlu ve Tilki, 2004). Erinç kuraklık indisi değerlerine göre ise ülkemizin yaklaşık ¾’ü yılın 5-8 ayını yarıkurak iklim koşulları altında geçirmekte olup, düşen yıllık yağışın pek azı vejetasyon dönemine rastlamaktadır (Erinç, 1984; Türkes, 1990). Ormancılık çalışmalarını olumsuz yönde etkileyen söz konusu alanlarda Anadolu karaçamının da kuraklık stresinden etkilendiği belirtilmektedir (Şimşek vd., 1995; Ürgenç, 1986; Akkemik, 2001; Çalikoğlu, 2002; Kilis, 2007; Gökdemir vd., 2012; Güner vd., 2016). Bu yüzden bu bölgelerde Anadolu karaçanı ile yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında kuraklığa daha dayanıklı orijinleri tespit etmek başarı açısından önem taşımaktadır.

Orman ağaçlarında kuraklığa dayanıklılık çalışmaları tohum, fidan ve ağaç aşamasında çeşitli yöntemlerle belirlenebilmektedir (Hinckley vd., 1980; Dirik, 1994; Çalikoğlu, 2002; Gonzales, 2009; Deligöz, 2011; Bartlett vd., 2012; Zhang ve Zgeng, 2012; İmal, 2015; Deligöz ve Bayar 2017; Bayar, 2018). Bu yöntemlerden tohum aşamasında kuraklık testleri, su alımını güçleştirici çeşitli kimyasal maddeler (polietilen glikol, sodyum klorür vb) kullanılarak su gerilimi oluşturulan ortamda tohumların çimlendirilmesi ile yapılmaktadır (Barnet, 1969; Michel ve Kaufmann, 1973; Khalil vd., 1997; Çalikoğlu ve Tilki,

2002). Söz konusu kimyasallardan polietilen glikol (PEG-6000) ile kuraklık testleri, hızlı, ucuz ve pratik bir yöntem olması nedeniyle çeşitli araştırmalara konu edilmiştir (Falusi ve Calamassi, 1982; Falusi vd., 1983; Falleri, 1994; Dirik, 2000; Boydak vd., 2003; Tilki, 2005; Zhu vd., 2006; Tilki ve Dirik, 2007; Ahmadloo vd., 2011; Shitole ve Dhubal, 2012; Bahrami vd., 2012; Li vd., 2013; Toosi vd., 2014; Şevik ve Ertürk, 2015). Ülkemizde Anadolu karaçamında PEG ile tohum aşamasında yapılan kuraklık testleri bulunmakla birlikte farklı biyoklimatik bölgeleri temsil eden orijinler ile yapılan çalışma sayısı sınırlıdır (Çalikoğlu, 2002; Semerci vd., 2008; Buyurukcu, 2011; Topaçoğlu vd., 2016). Özellikle türün geniş yayılış alanı ve küresel iklim değişikliğinin de etkileri göz önüne alındığında ekofizyoloji tabanlı yeni çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma; farklı biyoiklim bölgelerini temsil eden Anadolu karaçanı orijinlerinde PEG-6000 solüsyonu ile farklı su stresi düzeylerinin çimlenme üzerine olan etkisini ortaya koyarak, kuraklığa dayanıklı orijinleri tespit etmek ve orijinler arasında tür içi varyasyon düzeyini saptamak amacı ile 2018 yılında yürütülmüştür. Aynı çalışma kapsamında, orijinlerin kuraklık stresi altındaki tutumları ile temsil ettikleri biyoklimatik reyonların iklim özellikleri arasında olabilecek muhtemel ilişkilerin belirlenmesi de amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda türün kuraklık koşullarındaki ekofizyolojisine katkı yapılarak ağaçlandırma çalışmalarında orijin seçimine yardımcı olması beklenmektedir.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, 6 farklı Anadolu karaçanı orijininin elde edilen tohumlar ana materyal olarak kullanılmıştır. Söz konusu tohumlar Orman Genel Müdürlüğü, Fidanlık ve Tohum İşleri Dairesi Başkanlığından 500 er gr olarak temin edilmiş ardından laboratuvara getirilerek +4 °C de ağız kapalı kaplarda deney gününe kadar bekletilmişlerdir. Orijinlerin seçiminde Anadolu karaçanı Türkiye’deki doğal yayılış alanlarını temsil etmeleri dikkate alınarak yörelerin farklı biyoiklim bölgelerini temsil etmesine dikkat edilmiştir (Şekil 1). Orijinlere ve tohum toplanan alanlara ait bilgiler Çizelge 1 de, Emberger Biyoiklim Sınıflandırma Yöntemine göre orijinlerin iklim karakteristikleri ilgili bilgiler ise Çizelge 2 de verilmiştir. Orijinlere ait iklim verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Çizelge 1. Tohumların temin edildiği orijinlere ilişkin genel bilgiler

Bölge müdürlüğü	Orijinler	Yükselti (m)	Tohum kaynağı ve ulusal kayıt no	Kuzey enlemi-doğu boylamı	Toplanma yılı	1000 dane ağırlığı (gr)
Ankara	Nallıhan	1250	TM-120	40° 20' 27"-31° 06' 43"	2016	22.9
Ankara	Kızılcahamam	1350	TM-123	40° 28' 30"-32° 34' 56"	2016	23.7
Ankara	Çerkeş	1250	TM-124	40° 49' 25"-32° 39' 22"	2016	21.8
Balıkesir	Dursunbey	800	TM-113	39° 23' 07"-27° 15' 57"	2009	27.3
Bursa	Mustafakemalpaşa	1000	TM-83	39° 53' 45"-28° 43' 00"	2011	23.2
Muğla	Yılanlı	1100	TM-369	37° 11' 23"-28° 31' 53"	2011	25.8

T.M: Tohum meşceresi

Çizelge 2. Anadolu karaçamı orijinlerinin Emberger Biyoiklim Sınıflandırmasına göre iklim karakteristikleri (Akman, 1999)

No	Orijin	En yakın istasyon	İstasyon yükseltisi (m)	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q	PE (mm)	S	Biyoiklim zonu
1	Nallıhan	Nallıhan	650	299.1	31.4	-2.7	30.5	35.8	1.1	<i>Kurak-Soğuk</i>
2	K.Hamam	K.Hamam	1033	565.6	28.2	-4.8	60.1	84.4	3.0	<i>Yarı kurak-Çok soğuk</i>
3	Çerkeş	Çerkeş	1126	397.8	26.4	-7.1	42.0	96.1	3.6	<i>Yarı kurak-Son derece soğuk</i>
4	Dursunbey	Dursunbey	637	617.0	28.5	-0.8	73.5	57.1	2.0	<i>Az yağışlı-Soğuk</i>
5	M.K.Paşa	M.K.Paşa	1063	683.7	29.6	1.7	86.3	58.6	1.4	<i>Az yağışlı-Serin</i>
6	Yılanlı	Muğla	646	1220.9	32.8	1.6	133.5	38.4	1.1	<i>Yağışlı-Serin</i>

P (mm): Yıllık ort. yağış, M (°C): En sıcak ayın mak. Sıcaklık ort., m (°C): En soğuk ayın min. sıcaklık ort., Q: Yağış-sıcaklık katsayısı, PE (mm): Yaz ayları (6.,7. ve 8. aylar) yağış ort., S: Yaz kuraklık indisi= Yaz yağışı (Haz, Tem. Ağu.) / aynı üç ayın max. sic. ort



Şekil 1. Araştırmaya konu olan Anadolu karaçamı orijinlerin haritası

## 2.2. Yöntem

Su stresinin Anadolu karaçamı tohumunun çimlenmesi üzerine etkisi ve orijinler arasındaki farkların ortaya konulması amacıyla, her bir orijine ait tohumlar değişik su stresi koşullarında çimlenme testine tabi tutulmuşlardır. Değişik su stresine sahip ortamlar, saf suya belirli miktarlarda polietilen glikol (PEG 6000) eklenerek oluşturulmuştur. Su stresi seviyeleri 0, -0.2, -0.4, -0.6 ve -0.8 megapaskal (MPa) olacak şekilde Michel ve Kaufman (1973)'a göre hazırlanmıştır (Çizelge 3). Orijinler, her bir su stresi işleminde 4x50 adet tohumla çimlenmeye tabi tutulmuşlardır (6 orijin x 200 tohum x 5 su stresi=6000 tohum). Çimlendirmeler 11 cm çapındaki cam petri kaplarında gerçekleştirilmiş olup altlık olarak yine 11 cm çapındaki filtre kağıtları kullanılmıştır. Çimlenmeye alınan tohum örnekleri deneme kaplarına konulmadan önce, 5'er dakikalık sürelerle saf suda çalkalanarak yüzeysel olarak temizlenmiştir.

Çizelge 3. Uygulanan su stresi seviyeleri ile PEG miktarları

Su stresi (MPa)	gr PEG 6000/kg H <sub>2</sub> O
0	0
-0.2	104.98
-0.4	164.30
-0.6	209.45
-0.8	247.40

Çimlenme testleri inkübatörde (Lovibond TC-140G marka ve model) 20 °C sabit sıcaklık ve %60-70 nem koşullarında 28 günlük sürede ISTA (1996) kurallarına göre gerçekleştirilmiştir (Çalikoğlu, 2002). Petri kaplarındaki filtre kağıtları ve solüsyonlar 3 günde bir değiştirilerek yenilenmiştir. Deneme sürecinde kökçüğü, tohum boyunun 1-1.5 katı olan tohumlar çimlenmiş kabul edilmiştir (Şekil 2) (Çalikoğlu, 2002; Boydak vd., 2003; Tilki, 2005). Çimlenen tohumlar çimlenme cetvellerine kaydedilerek, testler sonunda orijinlere ait çimlenme yüzdeleri (ÇY) ve 10. gündeki çimlenme değerlerinden faydalanılarak çimlenme hızları (ÇH) belirlenmiştir.

Çimlenme verileri "Windows SPSS Software (23.0)" istatistik programında çift yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiş, verileri normal dağılıma yaklaştırmak için arcsin dönüştürmesi uygulanmıştır. Varyans analizi sonuçlarında istatistiksel bakımından anlamlı farklar çıkması (P<0.05) durumunda Tukey testi uygulanarak orijin ve işlemlerin gruplaşması ortaya konmuştur. Varyans analizi öncesi ÇY değerleri için denemeye alınan orijinlerin kontrol gruplarındaki (0 MPa) çimlenme yeteneği farklılıklarının analiz sonuçlarındaki yanıtıcı etkilerini elimine edebilmek için, bu işlemdeki değerler 100 kabul edilmiş ve diğer stres düzeyi işlemlerindeki değerler 100'e oranlanarak oransal çimlenme yüzdeleri (OÇY) elde edilmiştir. Böylece işlemler ve orijinler arası farklar daha rasyonel bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır.





Şekil 2. Petri kaplarına yerleştirilen filtre kâğıtları ile solüsyonların yenilenmesi ve çimlenen tohumların sayımı

### 3. Bulgular

Farklı Anadolu karaçamı orijinlerine ait tohumların farklı su stresi seviyelerindeki çimlenme yüzdeleri (ÇY) Çizelge 4'te verilmiştir. Tüm orijinlerin ÇY leri stres düzeyi arttıkça buna paralel olarak düşüş göstermiştir. Fakat bazı orijinlerde az da olsa artış göstermiştir.

Çimlenme testleri sonucunda elde edilen bulgulara uygulanan varyans analizi sonucunda; orijin, su stresi düzeyi ve orijin ile su stresi düzeyi etkileşiminin Anadolu karaçamı tohumlarının oransal çimlenme yüzdesi (OÇY) ve çimlenme hızı (ÇH) üzerinde  $p < 0.005$  güven düzeyinde etkili olduğu bulunmuştur (Çizelge 5). Orijinlerin ve su stresi düzeylerinin kendi içlerindeki gruplaşmalarına ait Tukey testi sonuçları ise Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmiştir.

Orijinlerin OÇY lerine ait Tukey testi sonuçları incelendiğinde (Çizelge 6); kontrol ve 0.2 MPa su stresi seviyesinde orijinler arasında istatistiki açıdan fark bulunmaz iken diğer stres seviyelerinde fark bulunmuştur. Fark tespit edilen su stresi seviyelerinde, -0.4 MPa su stresindeki OÇY değerleri incelendiğinde en yüksek değer Çerkeş (%107.2) en küçük değer ise Yılanlı (%69.3) orijininde tespit edilmiştir. -0.6 MPa su stresi seviyesinde, en yüksek OÇY değerlerini sırasıyla Çerkeş (%93.0), K.Hamam (%88.7) ve Nallıhan (%81.2) orijinleri gösterirken, en düşük OÇY değerini ise Yılanlı (%38.9) orijini göstermiştir. Son olarak -0.8 MPa su stresi seviyesinde en yüksek OÇY değerini K.Hamam (% 37.0) ve Nallıhan (%26.8) orijinleri, en düşük OÇY değerini ise Yılanlı (% 0) orijini göstermiştir.

Her orijinin kendi içindeki su stresi seviyelerinde oluşan OÇY değerleri istatistiki açıdan değerlendirildiğinde ise (Çizelge 6, Şekil 3); tüm orijinlerde su stresi seviyesi arttıkça orijinlere ait OÇY değerlerinde genel bir düşüş olduğu anlaşılmaktadır. Nallıhan, K.Hamam, Çerkeş ve M.K. Paşa orinleri -0.4 ve -0.6 MPa su stresi seviyelerine kadar kontrol grubundaki gibi yüksek bir OÇY değeri göstererek kontrol grubundan istatistiki açıdan farklılık göstermezken diğer orijinler daha düşük su stresi seviyelerinde farklılık göstermişlerdir. Bununla birlikte Çerkeş orijini kontrol grubundan itibaren -0.6 MPa su stresi derecesine kadar yüksek OÇY değerlerini korumuştur (Çizelge 6). Ayrıca Nallıhan orijininde -0.4 MPa daki OÇY -0.2 MPa dakine göre, Çerkeş orijininde -0.2 ve -0.4 MPa su stresindeki OÇY kontrol grubuna göre ve Dursunbey orijininde -0.2 MPa daki OÇY kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 3).

Su stresi seviyelerinin orijinlerin ÇH larına yapmış olduğu etkiler incelendiğinde (Çizelge 7); kontrol ve -0.2 MPa stres grubunda en yüksek ÇH değerlerini Nallıhan (%39, %32.5) K.Hamam (%34, %22.5) ve M.Kemalpaşa (%38, %27) orijinleri gösterirken diğer orijinler en düşük ÇH değerleri göstermiştir. -0.4 ve -0.6 MPa su stresi seviyelerinde en yüksek ÇH değerini Nallıhan (%33.5, %14.5) en düşük ÇH değerini ise Çerkeş (%4, %2.5) ve Yılanlı (%2.5, %0) orijinleri göstermiştir. -0.8 MPa su stresi seviyesinde ise tüm orijinler ÇH değerleri bakımından istatistiksel anlamda bir fark göstermemiştir. Genel olarak su stresi seviyesi arttığında orijinlerin çimlenme hızları azalış göstermiştir.

Çizelge 4. Anadolu karaçamı orijinlerine ait tohumların çimlenme yüzdeleri

Orijinler	Su stresi seviyeleri (MPa) ve çimlenme yüzdeleri				
	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8
Nallıhan	89.5	85.5	88.5	73.0	24.0
K. Hamam	71.5	65.5	66.0	63.5	26.0
Çerkeş	37.0	38.5	39.5	34.0	6.0
Dursunbey	41.5	41.0	46.5	24.5	2.5
M. Kemalpaşa	70.0	74.5	57.0	42.0	16.5
Yılanlı	57.0	49.5	39.0	22.5	0.0
Ort.	61.1	59.1	56.1	43.3	12.5

Çizelge 5. Çimlenme değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

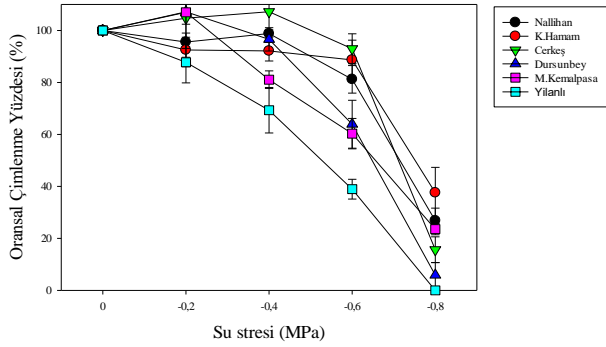
Oransal çimlenme yüzdesine ait sonuçlar				
Varyasyon kaynağı	DF	Kareler ortalaması	F Hesap	P
Orijin	5	1641.3	9.75	0.000
Su stresi	4	28082.2	166.81	0.000
Orijin*su stresi	20	453.0	2.69	0.001
Çimlenme hızlarına ait sonuçlar				
Varyasyon kaynağı	DF	Kareler ortalaması	F Hesap	P
Orijin	5	1352.1	76.75	0.000
Su stresi	4	2280.8	129.47	0.000
Orijin*su stresi	20	127.2	7.22	0.000

Çizelge 6. Su stresinin oransal çimlenme yüzdesine olan etkisini gösteren Tukey testi sonuçları

Orijinler	Su stresi seviyeleri (MPa) ve oransal çimlenme yüzdesi				
	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8
Nallıhan	100 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	95.6 <sup>ab</sup> <sub>A</sub>	98.8 <sup>a</sup> <sub>AB</sub>	81.2 <sup>b</sup> <sub>AB</sub>	26.8 <sup>c</sup> <sub>AB</sub>
K. Hamam	100 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	92.5 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	92.1 <sup>a</sup> <sub>AB</sub>	88.7 <sup>a</sup> <sub>AB</sub>	37.6 <sup>b</sup> <sub>A</sub>
Çerkeş	100 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	104.7 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	107.2 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	93.0 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	15.6 <sup>b</sup> <sub>ABC</sub>
Dursunbey	100 <sup>ab</sup> <sub>A</sub>	107.2 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	96.6 <sup>ab</sup> <sub>AB</sub>	64.0 <sup>b</sup> <sub>BC</sub>	5.6 <sup>c</sup> <sub>BC</sub>
M. Kemalpaşa	100 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	107.0 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	81.1 <sup>b</sup> <sub>AB</sub>	60.3 <sup>c</sup> <sub>BC</sub>	23.6 <sup>d</sup> <sub>ABC</sub>
Yılanlı	100 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	87.8 <sup>ab</sup> <sub>A</sub>	69.3 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	38.9 <sup>c</sup> <sub>C</sub>	0.0 <sup>d</sup> <sub>C</sub>
Ortalama	100 <sup>a</sup>	99.1 <sup>a</sup>	90.9 <sup>a</sup>	71.0 <sup>b</sup>	18.2 <sup>c</sup>

\* Aynı satırdaki küçük harfler, her orijinin kendi içindeki su stresi derecelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir ( $p < 0.05$ ).

\*\* Aynı sütundaki büyük harfler, her bir su stresi derecesinde orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir ( $p < 0.05$ ).



Şekil 3. Su stresinin oransal çimlenme yüzdesine olan etkisi

Çizelge 7. Su stresinin çimlenme hızına olan etkisini gösteren Tukey testi sonuçları

Orijinler	Su stresi seviyeleri (MPa) ve çimlenme hızları (10. gündeki çimlenme yüzdesi)				
	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
Nallıhan	39.0 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	32.5 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	33.5 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	14.5 <sup>b</sup> <sub>A</sub>	0.5 <sup>b</sup> <sub>A</sub>
K. Hamam	34.0 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	22.5 <sup>b</sup> <sub>A</sub>	17.5 <sup>bc</sup> <sub>BC</sub>	9.5 <sup>cd</sup> <sub>AB</sub>	0.0 <sup>d</sup> <sub>A</sub>
Çerkeş	13.5 <sup>a</sup> <sub>B</sub>	8.0 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	4.0 <sup>bc</sup> <sub>D</sub>	2.5 <sup>c</sup> <sub>BC</sub>	0.0 <sup>c</sup> <sub>A</sub>
Dursunbey	11.0 <sup>a</sup> <sub>B</sub>	9.5 <sup>a</sup> <sub>B</sub>	7.5 <sup>a</sup> <sub>DC</sub>	0.0 <sup>b</sup> <sub>C</sub>	0.0 <sup>b</sup> <sub>A</sub>
M. Kemalpaşa	38.0 <sup>a</sup> <sub>A</sub>	27.0 <sup>b</sup> <sub>A</sub>	19.5 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	9.5 <sup>d</sup> <sub>AB</sub>	0.0 <sup>e</sup> <sub>A</sub>
Yılanlı	13.0 <sup>a</sup> <sub>B</sub>	10.0 <sup>b</sup> <sub>B</sub>	2.5 <sup>c</sup> <sub>D</sub>	0.0 <sup>d</sup> <sub>C</sub>	0.0 <sup>d</sup> <sub>A</sub>
<b>Ortalama</b>	<b>24.7<sup>a</sup></b>	<b>18.2<sup>b</sup></b>	<b>14.0<sup>c</sup></b>	<b>6.0<sup>d</sup></b>	<b>0.1<sup>e</sup></b>

\* Aynı satırdaki küçük harfler, her orijinin kendi içindeki su stresi derecelerinde oluşan farklı grupları göstermektedir (p<0.05).

\*\* Aynı sütündeki büyük harfler, her bir su stresi derecesinde orijinler arasındaki farklı grupları göstermektedir (p<0.05)

#### 4. Tartışma ve sonuç

Ağaç türlerine ait tohumların su stresi koşullarındaki çimlenme yeteneklerinin ortaya konması gerek türlerin gelişme ekolojilerinin aydınlatılmasında gerekse kuraklığa karşı dayanıklılıklarının belirlenmesinde önem taşıyan bir araştırma alanıdır. Bu amaçla ele alınan çalışma sonucunda; su stresinin Anadolu karaçamı tohumlarının çimlenmesi üzerinde oldukça etkili bir faktör olduğu ve su stresi seviyesinin artması ile de çimlenme değerlerinin azalış gösterdiği, -0.6 MPa su stresi seviyesinde orijinler arasında belirgin farklılıklar olduğu ve -0.8 MPa su seviyesinde ise tüm orijinlerin çimlenme değerlerinin büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 6 ve 7). Nitekim -0.4 ile -0.6 MPa arasında OÇY %22 ÇH %57 azalmış, -0.6 ile -0.8 MPa arasında ise OÇY %74 ve ÇH %98 oranında azalarak kırılma noktası olmuştur. Bu çalışmadan edilen bulgular Anadolu Karaçamında yapılmış olan benzer çalışmalar ile de benzerlik göstermektedir. Nitekim Çalikoğlu (2002), Semerci vd., (2008), Buyurukcu (2011) ve Topaçoğlu vd., (2016) su stresi seviyesi arttıkça çimlenme değerlerinin azaldığını ifade etmişlerdir.

Her ne kadar su stresinin artmasıyla birlikte genel olarak çimlenme değerlerinin azaldığı ifade edilse de, bazı düşük su stresi seviyeleri çimlenme verilerine olumlu etki yapabilmektedir. Çalışmamızda Nallıhan, Çerkeş ve Dursunbey orijinlerinde -0.4 MPa su stresi seviyesine kadar bu durum gözlemlenmiştir (Çizelge 6, Şekil 3). Bazı orman ağacı tohumlarında ılımlı su stresi ve osmotik stres ile koşullandırmanın çimlenmeyi artırdığı da bildirilmektedir (Dirik vd., 1999).

Anadolu karaçamının yanında, ülkemiz silvikültüründe önemli bir yer teşkil ederek ağaçlandırma çalışmalarında kullanılan önemli ibrelili ağaç türlerimiz Toros sediri,

Kızılçam ve Sarıçam'dır. Söz konusu türlerin tohumlarının su stresi altında çimlenme yeteneklerinin karşılaştırılarak türler arasındaki farklılıkların belirlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Yapılan literatür taramalarına göre; Dirik (2000); Toros sediri tohumlarının -0.2 ve -0.4 MPa stres düzeylerinde oldukça düşük çimlenme yeteneklerine sahip olduğunu belirlemiştir. Boydak vd., (2003) farklı biyoklimatik bölgeleri temsil eden kızılçam orijinlerine ait tohumlarda su stresinin çimlenme değerlerine olan etkisini araştırdıkları çalışmada, türün tohumlarının çimlenmesinin -0.4 MPa stres düzeyine kadar etkilenmediğini -0.6 MPa dan sonra çimlenme yüzdesinde belirgin bir düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Yine Kızılçam tohumlarının çimlenmesi üzerinde su stresinin araştırıldığı diğer bir çalışmada da Şevik ve Ertük (2015) benzer sonuçları elde etmiştir. Diğer önemli bir ağaç türümüz olan sarıçamda su stresinin çimlenme üzerine olan etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda ise Tilki (2002 ve 2005); -0.2 ve -0.4 MPa su stresi seviyelerinde çimlenme yüzdesinin istatistiki anlamda düşmeye başladığını -0.6 MPa su stresi seviyesinde ise çimlenmelerin önemli oranda azaldığını belirlemişlerdir. Yukarıda da belirttiği gibi Anadolu karaçamı tohumları üzerinde yapılan bu çalışma ve diğer çalışma sonuçlarında -0.6 MPa su stresi seviyesinden sonra çimlenme yüzdesinde önemli bir düşüş tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular ile söz konusu literatür bilgileri birlikte değerlendirildiğinde; 0 ile -0.8 MPa su stresi düzeyleri arasında strese en dayanıklı türler olarak Kızılçam ve Anadolu karaçamının öne çıktığı bunu sırasıyla Sarıçam ve Toros sedirinin izlediği kanısına varılmıştır.

Orman ağacı tohumlarının su stresi altındaki çimlenme yetenekleri ele alındığında; artan su stresi koşullarında ağaç türleri ve orijinleri arasında çimlenme yeteneği bakımından önemli farklılıklar olduğu anlaşılmıştır. Konu ile ilgili olarak yapılanmış olan araştırmalarda da benzer sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Falusi vd., (1983) *Pinus halepensis* tohumlarının -0.2 MPa su stresi düzeyinde ÇY lerinde önemli bir gerileme olmadığını -0.4 MPa su stresi düzeyinde hafif, -0.6 MPa su stresi düzeyinden itibaren ise belirgin bir düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Falleri (1994) *Pinus pinaster* türünde 6 orijin ile yaptığı çalışmada türe ait tohumların çimlenme yüzdesininin -0.4 MPa su stresi düzeyinde olumsuz olarak etkilenmeye başlayarak -0.8 MPa su stresi seviyesinde ani bir düşüşle ÇY sinin %50 azaldığını ortaya koymuştur. Yine Kaufmann ve Eckard (1977) -0.8 MPa su stresi düzeyinin *Pinus contorta* ve *Picea engelmannii* tohumlarında ÇY sini %50 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Dunlap ve Barnet (1984) ise, *Pinus taeda* tohumlarının ÇY sinin -1.0 MPa su stresi düzeyine kadar fazla bir değişim göstermediğini, -1.5 MPa ise çimlenmenin %10-15'e düştüğünü belirtmişlerdir. Kızılçam türü ile yapılan diğer bir çalışmada Falusi ve Calamassi (1982), -0.4 MPa su stresi seviyesinde çimlenmenin belirgin bir azalmaya uğradığını -0.8 MPa stres düzeyinde ise % 5 seviyesine kadar düştüğünü ortaya koymuşlardır. Zhu vd., (2006) doğal ve yapay sarıçam ormanlarından elde edilen tohumların çimlenme değerleri üzerine, %0, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında hazırlanan PEG solüsyonlarının etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak %25 seviyeden sonra çimlenmenin olmadığını ve doğal ormanlardan toplanan tohumların tüm işlem gruplarında yapay ormanlardan toplananlara göre yüksek çimlenme değerleri sergilediğini tespit etmişlerdir. Toosi vd. (2014)'de *Brassica juncea* türünde yapmış oldukları çalışmada, su

stresi değerinin artması ile birlikte tohumların çimlenme değerlerinde bir düşüş olduğunu, -1.0 MPa ve -1.2 MPa su stresi seviyelerinde ise tamamen çimlenmenin durduğunu belirlemişlerdir. Ahmadloo vd., (2011) *Cupressus arizonica* ve *C. sempervirens* tohumlarında kuraklık stresinin çimlenme parametrelerine olan etkisini araştırdıkları çalışmada, 0 MPa dan -0.8 MPa su stresi seviyesine çıktıkça türlerin çimlenme değerlerinde bir düşüş yaşandığını ve *C. sempervirens*'in düşük su stresi seviyelerinde *C. arizonica* ya göre kuraklığa daha dirençli olduğunu bildirmişlerdir. Yılmaz (2005), Doğu kayınının optimum yetiştirme ortamında yetişen ve yaz kuraklığı bulunmayan bölgeleri temsil eden orijinlerin çimlenme parametrelerinin stres koşullarında diğer orijinlere göre daha düşük çıktığını tespit etmiştir.

Çalışmamızda farklı orijinlere ait tohumlara uygulanan 0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 MPa su stresi seviyelerinde elde edilen çimlenme verileri değerlendirildiğinde; Çerkeş, Kızılcahamam, Nallıhan ve M.Kemalpaşa orijinleri, çalışmada kullanılan diğer orijinlere göre daha yüksek bir çimlenme değeri göstermişlerdir. Artan su stresine paralel olarak bahsi geçen orijinlerin çimlenme yeteneklerini diğer orijinlere göre daha az oranda azaltarak daha dayanıklı bir tutum gösterdikleri tespit edilmiştir (Çizelge 6 ve 7). Bu sonuçlara göre, söz konusu orijinlerin kuraklığa daha dayanıklı oldukları söylenebilir. Nitekim, benzer çalışmalarda da Çalikoğlu (2002), Semerci vd., (2008), İmal (2015) söz konusu orijinleri kuraklığa dayanıklı orijinler olarak tespit etmişlerdir.

Çimlenme hızı tohum kalitesini belirlemede önemli etkenlerden olup hızlı çimlenen tohumların fidan yüzdeleri de yüksek olmakta ayrıca ÇH yüksek olan tohumlar stres etmenlerine daha dayanıklı olabilmektedir (Tilki ve Çalikoğlu, 1998). Nitekim Smith (1986) ve Çalikoğlu (2002), su stresi koşullarında daha yüksek oranda ve hızda çimlenebilen tohumlardan oluşan fidelerin daha fazla kök ve sak geliştirmesi ile biyotik (mantar) abiyotik (kuraklık) karakterli olumsuz etmenlere karşı daha dayanıklı olduklarını belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz araştırma neticesinde de; tüm su stresi seviyelerinde çimlenme hızları yüksek olan Nallıhan, K.Hamam ve M.K.Paşa orijinleri kuraklığa daha dayanıklı orijinler olarak öne çıkmıştır. Bu bilgilerin ışığında; tohumların çimlenme hızının fidelik gücünün tespit edilmesinde ve su stresi etkilerinin daha anlaşılabilir yorumlanmasında etkili bir parametre olduğu söylenebilir.

Araştırmada gerek su stresi koşullarındaki OÇY gerekse ÇH değerleri bakımından orijinler arası tespit edilen farklılıklar kuraklığın çimlenme üzerindeki etkisinin, Anadolu karaçamında bir tür içi varyasyona neden olduğunu göstermektedir. Anadolu karaçamı ve diğer türlerde yapılan benzer çalışmalarda da yine tür içi varyasyonlar tespit edilmiştir (Falusi ve Calamassi, 1982; Dirik, 2000; Çalikoğlu, 2002; Boydak vd., 2003; Tilki, 2005; Topaçoğlu vd., 2016).

Su stresi koşullarında orijinlerin temsil ettiği biyolojik iklim bölgeleri ile tohumların çimlenme değerleri arasındaki ilişki birlikte ele alındığında; kuraklığa dayanıklılık bakımından orijinler temsil ettikleri biyoiklim sınıflarının karakteristiklerini yansıttıkları anlaşılmış, daha az yağışlı yöreleri temsil eden orijinler su stresi koşullarında daha fazla oranda ve hızda çimlenmişlerdir. Nitekim Emberger biyoiklim sınıflamasında (Çizelge 3), bir bölgenin "Q" değeri yağış-sıcaklık katsayısını, "S" değeri ise yaz kuraklığı indisini ifade etmekte olup bu değerlerin azalması

ile o bölgenin yaz kuraklığı şiddeti artmaktadır. Farklı su stresi seviyelerinde yapılan çimlenme testleri sonrasında "Q" ve "S" değerleri düşük olan orijinler (Nallıhan, M.K.Paşa, K.Hamam ve Çerkeş) yüksek çimlenme değerleri ile ön planda yer almışlardır. Söz konusu orijinlerin artan su stresi seviyesi derecelerinde yüksek bir çimlenme yüzdesi performansları biyoiklim sınıflandırması ile paralellik göstermiştir. Bu durum, yukarıda belirtilen orijinlerin doğal yayılış alanlarında ait olduğu ekolojik koşullardaki stres faktörlerine kendilerini daha iyi adapte etmeleri ile açıklanabilir.

Ağaçlandırma çalışmalarında kurak ve yarıkurak bölgelerde kuraklık stresi başarıyı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bu bölgelerde kuraklığa karşı dayanıklı orijinlerin tespit edilerek kullanılması ve ağaçlandırma çalışmalarında gerekli özel tekniklerin uygulanması başarı şansını arttıracaktır. Araştırma sonuçlarından elde edilen bulguların ışığında; özellikle İç Anadolu Bölgesinde yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında yükselti ve tohum transfer bölgeleri dikkate alındığında, yaz kuraklığının daha şiddetli görüldüğü alanlarda kuraklığa karşı dayanıklı olarak tespit edilen, Nallıhan, Kızılcahamam, Çerkeş ve M.K. Paşa orijinlerinin kullanılması önerilebilir.

Farklı orman ağacı türleri veya orijinlerinin kuraklığa dayanıklılığının tespit edilmesinde; öncelikle tohum ve fidan aşamasında kuraklık testlerinin yapılması gerekmektedir. Bunun yanında araziye dikimi gerçekleştirilen fidanların hayatta kalma yüzdeleri ile morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin belirlenmesi de oldukça önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çalışmamızda Anadolu karaçamında tohum aşamasındaki kuraklık test sonuçları verilmiştir. Bununla birlikte kuraklığa dayanıklı ağaç türlerinin tespitinin arazi aşaması ile birlikte değerlendirilmesi durumunda, kuraklığa dayanıklı tür ve orijinlerin daha güvenilir bir şekilde belirlenmesi mümkün olacaktır. Aynı zamanda bu tip çalışmalar sağlam bir ekofizyolojik temele yerleşeceği gibi uygulamaya da katkı sağlayacaktır.

#### Açıklama

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde hazırlanan yüksek lisans tezinin bir kısmının özeti. Ayrıca çalışmanın sonuçları "III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium (IMFES 2019)" isimli sempozyumda sözlü olarak sunulmuş ve özet metni bildiri kitabında yayımlanmıştır. Araştırma için tohum temininde yardımcı olan OGM-Fidanlık ve Tohum İşleri Dairesi Başkanlığı yetkilileri ve ilgili işletme ve fidanlık şeflerine teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Ahmadloo, F., Tabari, M., Behtari, B., 2011. Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus seeds*. International Journal of Forest, Soil and Erosion, 1(1): 11-17.
- Akkemik, Ü., 2001. A long master chronology of *Pinus nigra* Arn. and its contribution to climatology and pollen analysis. International Scientific Conference of Dendrochronology Book of Abstracts, 6-10 June, Gozd Martuljeck, Slovenia, pp.3.
- Akman, Y., 1999. İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim metodları ve Türkiye iklimleri), Kariyer Yayın Evi, Ankara.
- Alptekin, C.Ü., 1986. Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe)'nın coğrafik varyasyonları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Atalay, İ., Efe, R., 2010. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana*)'nın Ekolojisi ve Tohum Nakli Açısından Bölgelere Ayrılması. Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü, Ankara.
- Bahrami, H., Razmjoo, J., Ostadi, J.A., 2012. Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.), International Journal of AgriScience, 2(5): 423-428.
- Barnett, J.P., 1969. Moisture stress affects germination of longleaf and slash pine seeds. Forest Science, 15: 275-276.
- Bartlett, M. K., Scoffoni, C., Sack, L., 2012. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes. Ecology Letters, 15: 393-405.
- Bayar, E., 2018. Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcerelerinde sıklık bakımının ekofizyolojik etkileri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Boydak, M., Dirik, H., Tilki, F., Calikoglu, M., 2003. Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27: 91-97.
- Bradford, K.J., Dahal, P., Ni, B.R., 1992. Quantative models describing germination response to temperature, water potential, and growth regulators. Fourth International Workshop on Seeds Basic and Applied Aspects of Seed Biology, 20-24 July, France, pp. 239-248.
- Buyurukcu, S., 2011. Hanönü-Günlüburun Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) tohum bahçesinde su stresi etkileri yönünden klonal varyasyon. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- 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.
- Çalikoğlu, M., Tilki, F., 2002. Orman ağacı tohumlarında çimlenme-su stresi ilişkisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, B 52(1): 79-88.
- Çalikoğlu, M., Tilki, F., 2004. Lübnan Meşesi (*Quercus libani* Olivier) ve Macar Meşesi (*Q. frainetto* Ten.) fidanlarında kurak dönemdeki transpirasyon analizi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri, A54(1): 133-142.
- Deligöz, A., 2011. Seasonal changes in the physiological characteristics of Anatolian black pine and the effect on seedling quality. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35: 23-30.
- Deligöz, A., Bayar, E., 2017. Kuraklık stresli *Quercus cerris* fidanlarının fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerindeki değişimler. Turkish Journal of Forestry, 18(4): 269-274.
- Dirik, 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. Annals of Forest Science, 57: 361-367.
- Dirik, H., 1994. Üç yerli çam türünün (*Pinus brutia* Ten., *Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* Lamb. Holmboe, *Pinus pinea* L.) kurak periyottaki terleme tutumlarının ekofizyolojik analizi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A (44):111-121.
- Dirik, H., 1999. Dikim mevsiminde Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe) fidanlarındaki fizyolojik değişimler ve bunun dikim başarısı üzerindeki etkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A49 (2): 59-70.
- Dirik, H., Çalikoğlu, M., Tilki, F., 1999. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tohumlarında ozmotik stres ile koşullandırmanın çimlenme üzerine etkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A49(2): 76-89.
- Dunlap, R., Barnett, P., 1984. Manipulating loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seed germination with simulated moisture and temperature stress. In: Seedling Physiology and Reforestation Success (Ed: Duryea, M.L., Brown, G.N). Springer, USA, pp. 61-74.
- Erinç, S., 1984. Klimatoloji ve Metotları. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- Ertekin, M., Özel, H.B., 2010. Çorum yöresi erozyonla mücadele kapsamında yapılan Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ağaçlandırmaları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12(18): 77-85.
- Falleri, E., 1994. Effect of water stress on germination of six provenances of *Pinus pinaster* Ait. Seed Science and Technology, 22(3): 591-599.
- Falusi, M., Calamassi, R., 1982. Effects of moisture stress on germination and root growth in provenances of *Pinus brutia* Ten. Italian Academy of Forest Sciences, 31: 99-118.
- Falusi, M., Calamassi, R., Tocci, A., 1983. Sensitivity of seed germination and seedling root growth to moisture stress in four provenances of *Pinus halepensis* Mill. Silvae Genetica, 32: 4-9.
- Gonzales, C. A., 2009. Interactions between xylem structure and water relations of southern pines. PhD Dissertation, University of Florida School Of Forest Resources and Conservation, USA.
- Gökdemir, Ş., Tosun, S., Palazoğlu, Z., Arslan, M., Çoşgun, S., Türker, H., Tokcan, M., 2012. Türkiye'de Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Orijin Denemelerinin Yirmi Beşinci Yıl Ara Sonuçları. İç Anadolu Ormanlık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No:293, Ankara.
- Güner, Ş.T., Çömez, A., Özkan, K., Karataş, R., Çelik, N., 2016. Türkiye'deki karaçam ağaçlandırmalarının verimlilik modellemesi. Journal of Faculty of Forestry Istanbul University, 66(1): 159-172.
- Hinckley, T.M., Duhme, F., Hinckley, A.R., Richter, H., 1980. Water relations of drought hardy shrubs: Osmotic potential and stomatal reactivity. Plant Cell and Environment, 3: 131-140.
- ISTA, 1996. International rules for seed testing. Seed Science and Technology (Supplement), 24: 1-365.
- İmal, B., 2015. Bazı Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) orijinlerinin dona ve kuraklığa karşı dayanıklılıklarının ekofizyolojik olarak belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y., 2005. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms (Review). Gazi University Journal of Science, 18(4): 723-740.
- Kaufmann, M.R., Eckard, A.N., 1977. Water potential and temperature effects on germination of Engelmann Spruce and Lodgepole Pine seeds. Forest Science, 23: 27-33.
- Keshavarzi, M.H. B., 2012. The effect of drought stress on germination and early growth of *Sesamum indicum* seedling's varieties under laboratory conditions. International Journal of Agricultural Management and Development, 2(4): 271-275.
- Khalil, S.K., Mexal, J.G., Ortiz, M., 1997. Osmotic priming hastens germination and improves seedling size of *Pinus brutia* var *elderica*. Tree Planters Notes, 48: 24-27.
- Kilis, Y., 2007. Tüplü Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ve Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) fidanlarıyla kurulmuş plantasyonlarda kuraklığa dayanıklılık analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Konukçu, M., 2001. Ormanlar ve Ormanlığımız, Genişletilmiş 2. Baskı. Devlet Planlama Teşkilatı Yayın ve Temsil Dairesi başkanlığı, Yayın No:2630, Ankara.
- Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G., 1996. Physiology of Woody Plants. Second Edition, Academic press, United States of America.
- Kramer, P.J., Kozłowski, T.T., 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press, New York.
- Kramer, P. J., 1983. Water Relations of Plants. Academic Press Inc., United States of America.
- Kramer, P. J., Boyer, J. S., 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, Toronto.
- Larcher, W., 2003. Physiological Plant Ecology. 4th edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

- Leviit, J., 1972. Responses of Plants to Environmental Stress. Academic Press, New York.
- Li, H., Li, X., Zhang, D., Liu, H., Guan, K., 2013. Effects of drought stress on the seed germination and early seedling growth of the endemic desert plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae), EXCLI Journal, 12: 89-101.
- Michel, B. E., Kaufmann, M. R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant physiology, 51(5): 914-916.
- OGM, 2019. Ormancılık istatistikleri 2019. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Sayfalar/Istatistikler.aspx> Erişim: 28.06.2020.
- Özen, H. Ç., Onay, A., 2007. Bitki Fizyolojisi. Nobel Yayınları, Ankara.
- Saatçioğlu, F., 1976. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Semerci, H., Öztürk, H., Semerci, A., İzbirak, H., Ekmekçi, Y., 2008. Değişik Islah Zonlarından Örneklenen Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold ssp. *nigra* var. *caramanica* (Loudon) Rehder) Orijinlerinin Dona ve Kuraklığa Dayanıklılıklarının Belirlenmesi. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülteni, No:21, Ankara.
- Şevik, H., Ertürk, N., 2015. Effects of drought stress on germination in fourteen provenances of *Pinus brutia* Ten. seeds in Turkey. Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology, 3(5): 294-299.
- Shitole, S.M., Dhumal, K.N., 2012. Effect of water stress by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride on seed germination and seedling growth of *Cassia angustifolia*. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 3(2): 528-531.
- Smith, D.M., 1986. The Practice of Silviculture 8<sup>th</sup>. Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Şimşek, Y., Erkuloğlu, Ö.S., Tosun, S., 1995. Türkiye'de Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Orijin Denemelerinin İlk Sonuçları. İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No: 247, Ankara.
- Tilki, F., Dirik, H., 2007. Seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten.) as influenced by stratification, temperature and water stress. Journal of Environmental Biology, 28: 133-136.
- Tilki, F., 2002. Türkiye'de Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) tohumu üzerine teknolojik araştırmalar. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tilki, F., 2005. Seed germination and radicle development in six provenances of *Pinus sylvestris* L. under water stress. Israil Journal Plant Science, 53: 29-33.
- Tilki, F., Çalıköğü, M., 1998. Tohum gücü ve orman ağacı türlerinde test edilmesi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, B(48): 67-80.
- Toosi, A.S., Bakar, B.B., Azizi, M., 2014. Effect of drought stress by using PEG-6000 on germination and early seedling growth of *Brassica juncea* var. *ensabi*. Scientific Papers Series A. Agronomy, 57: 360-363.
- Topaçoğlu, O., Sevik, H., Akkuzu, E., 2016. Effects of water stress on germination of *Pinus nigra* Arnold. Seeds. Pakistan Journal of Botany, 48(2): 447-453.
- Türkeş, M., 1990. Türkiye'de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- Uslu, S., 1959. İç Anadolu steplerinin antropojen karakteri üzerine araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Umum Müdürlüğü Yayınları, 302 (15): 138-178.
- Ürgenç, S., 1986. Ağaçlandırma Tekniği. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Ürgenç, S., 1998. Ağaçlandırma Tekniği. Yenilenmiş ve genişletilmiş ikinci baskı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Yılmaz, M., 2005. Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) tohumlarının fizyolojisi üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, Y., Zgeng, Q., 2012. Determination of volumetric elastic moduli of plant leaf cells based on pressure-volume curves. Theoretical and Applied Mechanics Letters, 2(1): 014003.
- Zhu, J., Kang, H., Tan, H., Xu, M., 2006. Effects of drought stresses induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seeds from natural and plantation forests on sandy land. Journal Forest Research, 11: 319-328.
- Zoralioğlu, T., 1990. Eskişehir Yöresi Kurak ve Yarı Kurak Alanların Ağaçlandırılmasında Uygulanabilecek Makineli Arazi Hazırlığı Yöntemlerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten serisi, No:149, İzmit.