



Endemik Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold. subsp. *pallasiana* var. *fastigiata* Businský) tohumlarında çimlenme dinamikleri ve fungal kolonizasyon

Şeyma Semercioğlu ¹, Funda Oskay ^{1*}

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Uluyazı Kampüsü, 18100, Çankırı, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 05/05/2025

Kabul Tarihi: 26/06/2025

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1691643>

*Corresponding author:

fundaoskay@karatekin.edu.tr

ÖZ

Giriş ve Hedefler Bu çalışma, Anadolu karaçamının endemik bir varyetesi olan çok sınırlı bir alanda doğal yayılış gösteren ve popülasyonları çeşitli biyotik ve abiyotik tehditlerin etkisi altındaki Ehrami karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *fastigiata*) tohumlarının bazı kalite özelliklerinin, özellikle de tohum sağlığı ile ilişkili olarak tohumlarda fungal kolonizasyon miktarlarının belirlenmesi amacı ile yürütülmüştür.

Yöntemler Çalışmada taksonun, doğal yayılış alanından (*in situ*) ve tohum bahçelerinden (*ex situ*)

farklı yıllarda toplanarak 3-15 yıl arasında değişen sürelerde depolanmış tohumları analiz edilmiştir.

Bulgular Tohumların bin dane ağırlıkları 11,18- 20,91 g, rutubet yüzdeleri %6,63- %8,94, çimlenme enerjileri %0- %24, çimlenme yüzdeleri %1- %43,50 ve ortalama çimlenme süreleri 9,0- 16,91 gün arasındadır. Fungal kolonizasyon %9- %53,50 arasında değişirken çimlenme enerjisi ve çimlenme yüzdesi ile negatif, nem içeriği ile pozitif yönde anlamlı korelasyon göstermiştir.

Sonuçlar Tohumların düşük kalite özellikleri, depolama süresi ve tohum sahalarının çevresel koşullarındaki bozulmalarla ilişkilendirilebilir. Bu durum, marjinal ve sınırlı yayılışa sahip bu endemik varyetenin popülasyon yenilenme kapasitesi açısından uzun vadede ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Diğer taraftan tohum bahçelerinden elde edilen tohumların da son derece düşük performans göstermesi, genetik materyalin doğal popülasyona kıyasla çevresel koşullara daha az uyum sağlaması, bahçelerin bulunduğu bölgelerdeki mikroklimatik farklılıklar, tohum olgunlaşma dönemindeki stres faktörleri ve muhtemel bakım eksiklikleriyle ilişkili olabilir. Bu bulgular, *ex situ* tohum kaynaklarının etkinliğini değerlendirmede yalnızca genetik değil, aynı zamanda çevresel ve yönetimsel faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bulgular, Ehrami karaçamının etkin korunması için tohum sağlığı, depolama koşulları ve çevresel stres faktörlerinin bütüncül şekilde ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Ehrami karaçam, tohum fungusları, çimlenme, orman patolojisi, tohum patolojisi

Germination dynamics and fungal colonization in seeds of the endemic Ehrami Black Pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold. subsp. *pallasiana* var. *fastigiata* Businský)

ABSTRACT

Introduction and Objectives This study examined the seed quality of Ehrami pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *fastigiata*), an endemic variety of Anatolian black pine facing biotic and abiotic threats. The focus was on seed health, specifically fungal colonisation and its relationships with other seed characteristics.

Methods Seeds were collected from the natural distribution area (*in situ*) and seed orchards (*ex situ*) in different years and analysed after being stored for periods ranging from 3 to 15 years.

Results The thousand-seed weights of the seeds ranged from 11.18 to 20.91 g, moisture contents from 6.63% to 8.94%, germination energies from 0% to 24%, germination percentages from 1% to 43.50%, and average germination periods from 9.00 to 16.91 days. The percentage of fungal colonisation ranged from 9 to 53.5%, showing a significant negative correlation with both germination energy and germination percentage, while demonstrating a positive correlation with moisture content.

Conclusions The low quality of seeds is caused by several factors, including how long the seeds have been stored and the environmental conditions they face, especially due to climate change and mistletoe during seed production. This situation is a serious long-term threat to the growth of this unique variety, given its limited and marginal distribution. Also, the poor performance of seeds from seed orchards may happen because their genetic material is less suited to local conditions compared to seeds from natural populations. Differences in microclimates where orchards are located, stress during seed maturation, and possible maintenance issues may also play a role. These show how important it is to consider genetic factors, environmental conditions, and management practices when assessing ex-situ seed resources. A thorough approach to seed health, storage conditions, and environmental stressors is essential for successfully conserving the Ehrami pine.

Key Words: Ehrami karaçam, seed fungi, germination, forest pathology, seed pathology

Bu makaleye atf:

Semercioğlu, Ş., Oskay, F., 2025. Endemik Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold. subsp. *pallasiana* var. *fastigiata* Businský) tohumlarında çimlenme dinamikleri ve fungal kolonizasyon. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(1), 212-224.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Pinus nigra J. F. Arnold (karaçam), Avrupa'nın güneyi ve Anadolu'nun dağlık bölgeleri gibi geniş ancak parçalı bir yayılış alanına sahip, odun üretimi ve ağaçlandırma çalışmaları açısından önemli iğne yapraklı bir orman ağacıdır. Beş alt türü bulunan bu türün, Türkiye'deki temsilcisi *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe (Anadolu karaçamı), dört milyon hektarı aşan yayılış alanıyla ülkede kızılçamdan sonra en geniş yayılışa sahip kozalaklı orman ağacı türüdür. Geniş ve parçalı yayılışı nedeniyle varyasyonlar gösteren Anadolu karaçamının Türkiye'de çeşitli varyeteleri bulunmaktadır (Akkemik et al., 2011; Yılmaz, 2022). Bu varyetelerden biri, morfolojik özellikleri, sınırlı yayılışı ve genetik farklılıkları ile özel bir öneme sahip, nesli tehlike altında olan Ehrami karaçamdır [*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *fastigiata* Businský (Syn. *P. nigra* Arnold var. *pyramidata* Acatay 1955; *P. nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pyramidata* (Acatay) Yaltırık., 1986)] (Acatay, 1956; Gülsoy et al., 2014; Ünalı, 2004; Akkemik et al., 2011; Yılmaz, 2022).

Varyete Türkiye'de ilk olarak 1955 yılında Türk ormancı ve fitopatolog Dr. Abdulgafur Acatay tarafından tanımlanmış ve *Pinus nigra* var. *pyramidata* olarak adlandırılmıştır (Acatay 1956). Acatay (1956), yöresel olarak, uzunçam, selviçam olarak da adlandırılan, bazı kaynaklarda Vakıf çamı olarak da geçen bu karaçam varyetesine, serviye (*Cupressus sempervirens* var. *pyramidalis* (O. Targ. Tozz.) Nyman) benzetmesinden dolayı 'Ehrami Karaçam' ismini vermiştir. Bununla birlikte Acatay (1956), *P. nigra* var. *pyramidata* 'nın, Beissner and Fitschen (1930) tarafından, dalları yukarı yönelimli, ibreleri oldukça uzun ve düzgün yapılı, kozalakları ise yaklaşık 8 cm uzunluğunda, büyük ve sivri formda bir varyete olarak daha önceden tanımlanarak adlandırıldığını, ancak söz konusu kaynağın, bu adlandırma ve tanımlamanın ilk kez kim tarafından yapıldığı ve daha da önemlisi doğal yayılış alanı hakkında bilgi verilmediğini ve ilgili kaynak gösterilmediğini belirtmiştir. Sonrasında bu endemik taksonun adı, Yaltırık (1986) tarafından *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pyramidata* olarak değiştirilmiştir. Günümüzdeki geçerli tanımla ve isimlendirmesi ise Businský tarafından yapılmış ve yeni bir varyete olarak *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *fastigiata* adıyla 2008 yılında yayımlanmıştır (Businsky, 2008).

Türkiye'ye özgü endemik bir varyete olan Ehrami karaçamın doğal yayılışı Kütahya ili Tavşanlı ilçesi civarındaki yaklaşık 300 hektarlık küçük bir alana sıkışmıştır (Yücel, 1995a, 1992a). Bu varyetenin doğal yayılışı 980-1350 metre rakımları arasında olup, özellikle Kütahya Tavşanlı Vakıfköy civarında en yoğun şekilde görülmektedir (Yücel, 1995a, 1992a). Ehrami karaçamın Türkiye için önemi ve Kütahya'daki doğal yayılış alanının Milli Park olarak korumaya alınması önerilmiş olup (Yücel, 1995b, 1992a, 1988), alanın bir kısmı 1993 yılında "Vakıf Çamlığı Tabiat Koruma Alanı" olarak ilan edilmiştir. Bunun dışında Kastamonu çevresinde de küçük toplulukları tespit edilmiştir (Karadağ, 1999). Ehrami karaçam, bozkır ve orman ekosistemleri arasındaki geçiş zonlarında yer almakta olup, kuraklığa ve düşük besin içeriğine sahip topraklara uyum sağlamıştır (Gülsoy et al., 2014). Bu varyete, dar piramidal tepe formu, gövdeden yukarıya dar açılarla çıkan dalları ve maksimum 15–20 metreye ulaşabilen boyu ile ayırt edilir (Acatay, 1956; Yaltırık, 1986). Varyete genetik ve bazı

morfolojik özellikleri bakımından alttürden önemli derecede farklılık göstermektedir; iğne yaprakları Anadolu karaçamına kıyasla daha kısa; 5,5-12 cm uzunluğunda, kozalakları daha kısa ve daha sıkı yapılı; ortalama uzunlukları 32,7–75,5 mm arasında ve tohumlar 5,2–7,3 mm uzunluğunda, oval şekilli ve hafif yapılıdır (Gülsoy et al., 2014; Yücel, 2022).

Türkiye'de, karaçam taksonları üzerinde yapılmış çeşitli bilimsel araştırmalar bulunsun da (Sevgi et al., 2022), sınırlı yayılış alanına sahip, nesli tehlike altında olan Ehrami karaçam, Ebe karaçamı, büyük kozalaklı çam, Sarkık dallı karaçam gibi taksonlar üzerine yapılmış çalışmalar sınırlı olup güncel araştırma yok denecek kadar azdır (Sevgi et al., 2022). Bununla birlikte, Ehrami karaçamın yayılışı ve ekolojik özellikleri konusunda Yücel (1992a) tarafından yapılmış doktora tezi, ayrıca 1999 yılında Kütahya'da düzenlenmiş "1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.))" sempozyumu dikkat çekicidir. Ehrami karaçamın doğal yayılış alanında yapılan çalışmalar, varyetenin morfolojisi, sistematigi, yayılışı, florası, vejetasyon yapısı, ekolojik özellikleri, meşcerelerinin özellikleri, genetik yapısı ve tohum özellikleri (Acatay, 1956; Gülsoy et al., 2014; Karadağ, 1999, 1993; Küçükkara and Tatlı, 1999; Tatlı et al., 1999; Tosun and Karadağ, 1991; Yücel, 1999a, 1995a, 1992a, 1992b) konularında çeşitli bilgiler sağlamaktadır. Yücel (2022), Ehrami karaçam ile ilgili yapmış olduğu çalışmalarını derleyerek; bu varyetenin habitusu (Yücel, 1999b, 1995a, 1992a), ibre özellikleri (Yücel, 1999b, 1996), polen morfolojisi (Yücel, 1995a, 1992a), kozalak ve tohum morfolojisi (Yücel, 1999c, 1994, 1992a), iklim, toprak, ölü örtü özellikleri, bitki beslenme elementleri ilişkileri gibi ekolojik özellikleri (Yücel, 1995a, 1992a), büyüme özellikleri (çap-boy ilişkileri) (Yücel, 1999b, 1996) ve tohum çimlenme özellikleri (Yücel, 1999c, 1994, 1992a) konularında bilgileri bir araya getirmiştir. Varyetenin, Kütahya-Tavşanlı dışında, Kastamonu civarında da doğal olarak yayıldığı belirtilmiş olsa da (Karadağ, 1999) literatürde bu yayılış alanına ilişkin güncel bilgi ne yazık ki bulunmamaktadır. Bu varyetenin yayılış alanı dışında tesis edilmiş Isparta-Gölcük yöresi plantasyon sahalarındaki tohum verimliliği (Bilir et al., 2017) ve büyüme performansı (Genç et al., 1999; Kartal and Bilir, 2022) gibi konularda da bazı araştırmaların yapılmış olduğu anlaşılmaktadır. Ehrami karaçam aşılı fidan üretim tekniği konusunda da bir yüksek lisans çalışması yürütülmüştür (Ergin, 2004; Sivacioglu et al., 2004). Ormancılık alanındaki bu çalışmalara ek olarak, Ehrami karaçamın uçucu yağları ve antimikrobiyal özellikleri de bazı araştırmalara konu olmuştur (Ucar and Balaban, 2004; Unalı and Toroglu, 2009). Diğer taraftan, sınırlı doğal yayılış alanına sahip bu endemik varyetenin doğal yayılış alanında ya da plantasyon sahalarında varyetenin neslini tehdit eden sorunlar (gençleşme dinamikleri, hastalık ve zararlılar, hava kirliliği, iklim değişikliğinin etkileri gibi) üzerine araştırma ya da yayınlar sınırlıdır (Dağdaş, 2016; Ünalı, 2004).

Ehrami karaçam, sınırlı bir alanda doğal olarak yayılış gösterirken, bu alanda varlığını tehdit eden çeşitli faktörlerle karşı karşıyadır ve nesli tehlike altında olan bir takson olarak değerlendirilmektedir (Dağdaş, 2016; Ünalı, 2004). Yücel (2022), Ehrami karaçamın doğal yayılış alanını tehdit eden unsurları; orman yangınları, genetik bozulma, bölgedeki gümüş işletmeleri, ormancılık uygulamaları, ilgili orman işletmelerinde

konunun önemine dair bilgi eksikliği, tanıtım yetersizliği ve ökseotu zararı olarak sıralamıştır. Ünalı (2004) ise Vakıfköy'deki Ehrami karaçam popülasyonlarının karşılaştığı çevresel ve biyotik tehditleri incelediği çalışmada, ağaç ölümlerinde çevrede bulunan termik santraller ile sanayi tesislerinden kaynaklanan SO₂ ve partikül madde kirliliğinin yanı sıra yaygın *Viscum album* L. (ökseotu) istilasının etkili olduğunu belirtmiştir. Ünalı (2004) çalışmada, bu etkenlerin, ağaçların fotosentez kapasitesini azaltarak su ve besin dengesini bozduğunu ve bu durumun zamanla daha da ağırlaştığını ifade etmiş, ayrıca, kuruyan ağaçlar ile kar ve rüzgâr devriklerinin yapısal hasarlara ve zararlı böcek popülasyonlarının artışına yol açtığını, koruma alanı statüsü nedeniyle müdahalelerin sınırlı olmasının da bu tehditlerin etkisini artırdığını vurgulamıştır.

Orman ağaçlarının tohumları, ekosistemlerin sürekliliğini sağlayan ve genetik çeşitliliğin korunmasında temel rol oynayan kritik unsurlardır. Bu bağlamda, endemik ve nesli tehlike altında olan Ehrami karaçam gibi varyetelerin tohum özelliklerini incelemek, bu varyetenin korunması ve restorasyonu açısından büyük önem taşımaktadır. Tohumların çimlenme oranı, canlılığı ve genetik çeşitliliği, popülasyonların doğal yayılım alanlarındaki gençleştirme başarısı ya da yayılım alanı dışında tesis edilmesi ve genetik erozyonun önlenmesi için temel veriler sunar. Bununla birlikte, Ehrami karaçamın tohum özelliklerine ilişkin çalışmalar varyetenin Kütahya civarındaki doğal yayılım alanına ait tohumlarla sınırlı olup bu konuda güncel çalışmalar da bulunmamaktadır. Literatür incelendiğinde, Ehrami karaçam tohumlarının çimlenme özellikleri üzerine araştırmaların 1992-1999 yılları arasında yapılan çalışmalarla sınırlı olduğu anlaşılmaktadır (Yücel, 1999c, 1994, 1992a). Bu konudaki ilk araştırmada, Ehrami karaçamın doğal yayılım alanından toplanan tohumların çimlenme özellikleri; Jacobsen, Rodewald ve çimlendirme dolabı koşullarında yapılan testlerle ortaya konulmuştur (Yücel 1992a). Yücel (1992a), beşi doğal yayılım alanı içinde ve biri Eskişehir'de peyzaj amaçlı kullanılan Ehrami karaçamlardan toplanan tohum örnekleri üzerinde yaptığı analizlerde tohumların bin dane ağırlıklarının 18,26 g ile 22,36 g arasında değişmekte olup ortalama 20,11 g olarak rapor etmiştir. Çalışma, Ehrami karaçamının sınırlı yayılışına rağmen tohumlarının çimlenme potansiyelinin yüksek olduğunu ve çimlenme başarısını etkileyen başlıca faktörlerin tohumun doluluk durumu, fizyolojik olgunluğu ve çevresel koşullar olduğunu ortaya koymuştur. Takip eden yıllarda yapılan diğer çalışmalarda Ehrami karaçam tohumlarının neredeyse yarı yarıya açık ve koyu renkli tohumlardan oluştuğu, açık renkli tohumların büyük bir çoğunluğunun boş (%81), koyu renkli tohumların ise büyük oranda dolu (%99) dolu olduğu ve bin dane ağırlıklarının açık renkli tohumlarda ortalama 13,1 g, koyu renklilerde ise ortalama 24,6 g olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca sürekli karanlık ortamda çimlenme hızının düşük ancak çimlenme kabiliyetinin daha yüksek olduğu da belirtilmiştir (Yücel 1994). Yücel (1999b) tarafından yürütülen başka bir araştırmada ise, Ehrami karaçam tohumlarında düşük tuzluluğun (%0,5) çimlenmeyi etkilemezken %1'den %3 konsantrasyonunda artan oranların çimlenmeyi orandaki artışa paralel olarak azalttığı, potasyum nitrat (KNO₃) ve sülfürik asit (H₂SO₄) uygulamalarının ise düşük konsantrasyonlarda bile çimlenmeyi olumsuz etkilediğini de belirlemiştir. Bu çalışmaların sonuçlarına dayanarak, Ehrami karaçam

tohumlarının çimlenme kabiliyetinin yüksek (ortalama %81,3) olduğu buna göre tohum çimlenme probleminin bulunmadığı bildirilmiştir (Yücel, 2022).

Günümüzde, Ehrami karaçamın ikisi Eskişehir (TB47 ve TB210), biri Bursa'da (TB85) olmak üzere 3 adet tohum bahçesi ile Kütahya'da (Tavşanlı-Vakıfköy) ve Kastamonu-Gölköy'de birer adet gen koruma ormanı bulunmaktadır (ORTOHUM, 2025). Tavşanlı-Vakıfköy'de bulunan Gen koruma ormanı, 2000 yılında Tohum meşceresi olarak yeniden tescil edilmiş (TM112, 106 ha), fakat 2014 yılında tabiatı koruma alanında kaldığı için 237 ha alanı kapsayacak şekilde gen koruma ormanı olarak (GKO_285) vasfı değiştirilmiştir (Dağdaş, 2016; ORTOHUM, 2025). Bunlara ek olarak, varyetenin Isparta Gölcük yöresinde de plantasyon sahaları bulunmaktadır. Ancak, bu varyetenin tohum bahçeleri ve doğal yayılım alanı dışındaki plantasyon sahalarından toplanan tohumların özellikleri hakkında bilgilerimiz oldukça sınırlıdır. Öte yandan, Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (ORTOHUM) tarafından tohum kaynaklarından toplanan tohumların çimlenme özellikleri, bin dane ağırlığı ve rutubet yüzdeleri, fidan üretimi öncesinde ORTOHUM laboratuvarlarında rutin olarak analiz edilmektedir. Ancak, bu veriler bilimsel literatüre dahil edilmemiş (yayınlanmamış) durumdadır.

Tohum kalitesi ve sağlığını etkileyen birçok faktör bulunmakla birlikte, biyotik faktörlerin başında fungal enfeksiyonlar gelmektedir. Tohumlarla ilişkili funguslar genel olarak tohumların çimlenme kabiliyetini azaltan patojenik ve küf fungusları ya da çimlenen fidecik ve fidanların gelişimi ve yaşamını etkileyebilen patojenik funguslar olarak kötü ün yapmış olsalar da bazı fungusların tohumları ve bunlardan gelişen fidanları diğer patojenik ve sabrobik funguslara karşı koruyucu etkileri de olabilmektedir. Türkiye de orman ağaçları tohumları ile ilişkili fungusların araştırılmasına yönelik bazı çalışmalar bulunsun da (Aday Kaya and Karaman, 2023; Akıllı and Katircioğlu, 2006; Argun et al., 2014; Oskay and Karataş, 2021; Velioğlu, 2001), Ehrami karaçam tohumlarında fungal çeşitlilik ve fungusların çimlenme üzerindeki etkileri henüz araştırılmamıştır.

Bu çalışma, Ehrami karaçamın hem doğal (*in situ*) hem de doğal yayılım alanı dışı (*ex situ*) kaynaklardan toplanan tohumların kalite özelliklerinin belirlenmesi ve fungal kolonizasyonun tohum çimlenme performansına nasıl etki ettiğinin belirlenmesi amacı ile yürütülmüştür. Bu amaçla, ikisi Ehrami karaçamın doğal yayılım alanındaki Vakıf Çamlığı Tabiat Koruma alanındaki Gen koruma ormanından (GKO285; eski adı ile TM112 nolu tohum meşceresi) farklı yıllarda ve alanlardan ve diğer ikisi ise Eskişehir ve Bursa'da bulunan TB47 ve TB85 nolu tohum bahçelerinden temin edilmiş tohumlarının nem içerikleri (rutubet yüzdeleri) ve bin dane ağırlıkları ile çimlenme özellikleri (çimlenme enerjisi, çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi) ve çimlenme sürecinde tohumlarda fungal kolonizasyon yüzdeleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Tohum kaynağı

Bu çalışmada, 4 farklı alandan çeşitli yıllarda toplanarak depolanmış olan Ehrami karaçam tohumları kullanılmıştır

(Tablo 1). Tohum bahçesi ve tohum meşçeresi kaynaklı tohumlar, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi Tohum fizyolojisi Laboratuvarı tohum koleksiyonundan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm tohumlar +4 °C de depolanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Ehrami karaçam tohumlarının temin edildiği kaynaklara ilişkin bilgiler *

Tohum Kaynağı	Tohum Kaynağı (Tesis) Tipi	Orman İdari Konumu**	Enlem	Boylam	Orijin	Tohum Toplama Yılı ve Depolama Süresi (yıl)
Vakıf Çamlığı Tabiat Alanı (VO)	Doğal Yayılış Alanı	Kütahya, Tavşanlı, Vakıf Çamlığı Tabiat Alanı	39°27'8.85"K	29°40'47.39"D	Doğal Yayılış Alanı	2020, 4
TM112 (GKO185)	Tohum Meşçeresi/Gen Koruma Ormanı	Kütahya, Tavşanlı, Kayaboğazi	39° 27' 10" K	29° 41' 32" D	Doğal Yayılış Alanı	2009, 15
TB47	Tohum Bahçesi	Eskişehir, Eskişehir, İnönü	39° 43' 16" K	30° 25' 28" D	Tavşanlı (İkizoluk)	2021, 3
TB85	Tohum Bahçesi	Bursa, Karacabey, Karadağ	40° 18' 52" K	28° 13' 15" D	Tavşanlı (İkizoluk)	2019, 5

*: Tohum kaynaklarına ilişkin bilgiler Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (ORTOHUM) Web sitesinde yer alan Islah tesislerine ait bilgilerden faydalanılarak hazırlanmıştır. **: Orman Bölge Müdürlüğü, Orman İşletme Müdürlüğü, Şefliği

2.2 Tohumların bin dane ağırlıklarının ve nem içeriklerinin belirlenmesi

Her bir tohum kaynağına ait tohumların bin dane ağırlıkları 8 yinelemeli olarak 100'erli gruplar halinde rastgele seçilen tohumların elektronik hassas terazide tartıldıktan sonra, 8 yinelemenin ortalamasının alınıp 10 ile çarpılması sureti ile hesaplanmıştır (ISTA, 1996).

Tohumların nem içeriği (rutubet yüzdesi, R%) 3 yinelemeli olarak 5 g tohum örneğinde ISTA (1996)'ya göre belirlenmiştir. Laboratuvara getirilen tohumların taze ağırlığı (TA) ve 105±1 °C'de 17 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlığı (KA) 0,001 g duyarlılığındaki terazi ile belirlenmiştir. Fırında kurutulan tohumlar, içinde silika jel bulunan kuru tutuculara (desikatör) alınarak 15–20 dk soğumaya bırakıldıktan sonra tartılarak son olarak kuru ağırlıkları (KA) tespit edilmiştir. Tohumların nem tayini; ISTA (1996)'e göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Formülde; R (%): Rutubet yüzdesi, TA: taze ağırlık (g), KA: kuru ağırlık (g) değerlerini ifade etmektedir (Formül 1).

$$R (\%) = ((TA - KA) / TA) \times 100 \quad (1)$$

2.3 Tohumların çimlenme özelliklerinin belirlenmesi

Çimlendirme testleri, her bir tohum kaynağı için 50 adet tohum kullanarak 4 yinelemeli olarak, içerisinde nemlendirilmiş filtre kâğıtları bulunan 12 cm çapındaki plastik Petri kaplarında 20 °C sabit sıcaklık ve %60-70 nem koşullarına ayarlanmış inkübatörlerde gerçekleştirilmiştir. Tohum ekimini takip eden 3. günden itibaren 3'er gün ara ile tohumların çimlenme durumları ve tohumlar üzerinde fungal kolonizasyon olup olmadığı takip edilmiş, çimlenen tohum adetleri ve üzerinde fungal kolonizasyon gözlemlenen tohum adetleri çimlendirme füyüne kaydedilmiştir. Kökçüğü, tohum boyunun 1-1,5 katı olan tohumlar çimlenmiş kabul edilmiştir. Gözlemler 28 günlük bir süreç boyunca devam ettirilmiştir. 21. ve 28.

Günlerde, çimlenen tohum adetlerinde bir değişim olmadığı için hesaplamalarda 21. güne ait değerler kullanılmıştır.

Çimlenme testlerinin değerlendirilmesinde çimlenme hızı olarak da adlandırılan "Çimlenme Enerjisi" (ÇE; tohum ekimini takip eden ilk 6. ya da 9. gün sonunda çimlenen tohumların yüzdesi) ve "Çimlenme Yüzdesi" (ÇY; denemenin sonunda çimlenen tohumların yüzdesi) değerleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, tohumların çimlenme hızını ölçmek için kullanılan standart bir başka metrik olan "Ortalama Çimlenme Süresi" (OÇS; tohumların ortama kaç günde çimlendiği) de hesaplanmıştır. Bu değerler, aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmıştır. Formüllerde; ÇE (%): Çimlenme enerjisi, $\sum n_i$: 9. gündeki toplam çimlenen tohum adedi (Formül 2), ÇY (%): Çimlenme yüzdesi, $\sum n_{ii}$: 21. gündeki çimlenen toplam tohum, N: Teste konulan toplam tohum sayısı (Formül 3), OÇS (Gün): Ortalama çimlenme süresi, n_i ; i. günde çimlenen tohum adedi, t_i ; i. gün, $\sum n_i$; i. günde toplam çimlenen tohum adedini ifade etmektedir (Formül 4).

$$CE \% = \frac{\sum n_i}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$CY \% = \frac{\sum n_{ii}}{N} \times 100 \quad (3)$$

$$OÇS = \frac{\sum (n_i - t_i)}{\sum n_i} \quad (4)$$

Tohumlarda çimlenme durumları takip edilirken aynı zamanda bu tohumlar üzerinde herhangi bir fungal kolonizasyon olup olmadığı da izlenmiştir. Fungal kolonizasyon belirlenirken, tohumların çimlenmiş ya da çimlenmemiş olması ayrılmamıştır. Fungal kolonizasyon yüzdesinin (FK%) belirlenmesinde, ekimi takip eden 9. ve 21. günde üzerinde fungal kolonizasyon görülen tohum adedi esas alınarak bu oran aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Formülde FK (%): Fungal Kolonizasyon yüzdesi, n_{iii} : ekimden itibaren 21. güne kadar üzerinde fungal

kolonizasyon gözlemlenen toplam tohum adedi, N : Teste konulan toplam tohum adedini ifade etmektedir (Formül 5).

$$FK (\%) = \frac{\sum n_{iii}}{N} \times 100 \quad (5)$$

2.4 Tohumlarda yaygın olarak gözlemlenen fungusların tanısı

Çimlenme testleri sırasında tohumlar üzerinde gözlemlenen funguslar, morfolojik olarak tanılanmıştır. Morfolojik tanı için ilk olarak tohumlar üzerinde gelişim gösteren fungal kolonilerden steril bir iğne yardımı ile parçalar alınarak içerisinde Patates Dekstroz Agar (PDA) bulunan 90 mm'lik plastik Petri kutularına aktararak saflaştırılmıştır. Petri kaplarının etrafı parafilm ile sarılarak 20 °C'ye ayarlanmış bir inkübatöre yerleştirilmiş ve karanlık koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. Saflaştırılan fungal izolatlar koloni morfolojileri (gelişim hızı, koloni rengi, miselyal gelişim formu vb.) morfolojik gruplara (morfotip) ayrılmıştır. En az 5 izolatla temsil edilen yaygın morfotip izolatları mikroskopik olarak incelenmiş ve cins ya da tür seviyesinde teşhisleri morfolojik olarak gerçekleştirilmiştir.

2.5 Veri analizi ve istatistiksel değerlendirme

İstatistiki analizler öncesinde verilerin dağılım özelliklerini belirlemek üzere her bir sayısal değişken için Shapiro-Wilk normalite testi uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda; tohumlarda fiziksel kalite parametrelerine [rutubet yüzdesi (%), ve bin dane (g)], çimlenme ve fungal kolonizasyon özelliklerini kapsayan fizyolojik parametrelere [çimlenme enerjisi ÇE (%); çimlenme yüzdesi ÇY (%); ortalama çimlenme süresi: OÇS (gün) ile fungal kolonizasyon yüzdesi FK (%)] ilişkin verilerin normal dağılımdan anlamlı şekilde saptığı belirlenmiştir ($p < 0,05$) ve buna uygun olarak bu çalışmada kullanılan istatistiksel analizlerde non-parametrik test yöntemleri tercih edilmiştir. Farklı tohum kaynaklarının çimlenme enerjisi (ÇE %), çimlenme yüzdesi (ÇY %), ortalama çimlenme süresi (OÇS) ve fungal kolonizasyon yüzdesi (FK %) üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Kruskal-Wallis H testi uygulanmıştır. Bu test, üç veya daha fazla bağımsız grubun medyanları arasında fark olup olmadığını analiz etmek için kullanılmaktadır. Çimlenme performansı ile fungal kolonizasyon yüzdesi, tohum rutubeti ve bin dane değerleri arasındaki ilişkileri

değerlendirmek için Spearman sıralama korelasyon katsayısı (ρ) hesaplanmıştır. Korelasyon matrisi, değişkenler arası ilişkilerin görselleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla ısı haritası (heatmap) şeklinde sunulmuştur.

İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. İstatistiksel analizler ve görselleştirme işlemleri SPSS 20.0 (SPSS Institute Inc., 2012.) yazılımı ve Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

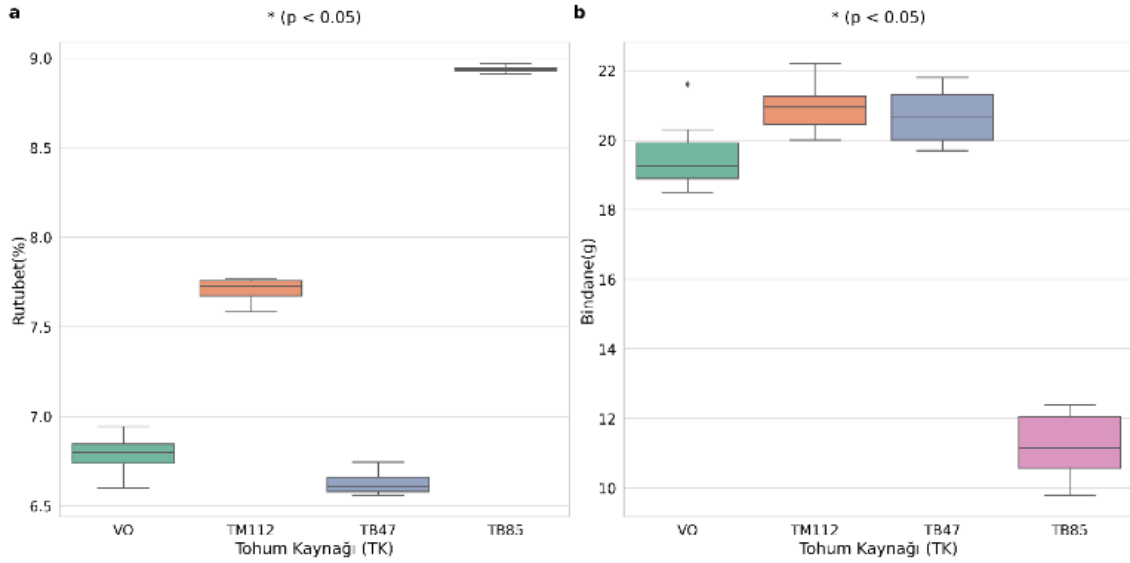
3. Bulgular

3.1 Tohum bin dane ağırlıkları ve nem içerikleri

Farklı tohum kaynaklarından elde edilen Ehrami karaçam tohumlarının tohum nem içerikleri %6,6 ile %8,9 arasında değişmiş, en yüksek nem içeriği, TB85 kodlu tohum kaynağında tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 2a). Tohum kaynakları arasında nem içerikleri bakımından farklılıklar, Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiş ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu ortaya koyulmuştur ($H = 114,300$, $df = 3$, $p < 0,001$). Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda, TB85 grubunun R (%) değeri, TB47, TM112 ve VO gruplarına göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. TB47 ile VO grubu hariç, diğer grup eşleşmelerinde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bin dane ağırlığı değerleri ise 11,2 g ile 20,9 g arasında değişmiş; en yüksek ortalama bin dane ağırlığı TM112 (20,9 g), en düşük ise TB85 (11,2 g) kaynaklı tohumlarda ölçülmüştür (Tablo 2, Şekil 2b). Kruskal-Wallis testi, tohum kaynakları arasında bin dane ağırlığı açısından da anlamlı farklar olduğunu göstermiştir ($H = 21,621$, $df = 3$, $p < 0,001$). İkili karşılaştırmalar, TB85 grubunun TB47 ve TM112 gruplarına göre anlamlı derecede daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Diğer gruplar arasındaki farklar ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 2. Tohum bin dane ağırlığı ve rutubet yüzdesine ait bulgular

Tohum Kaynağı tipi	Tohum Kaynağı Kodu	R (%) $\pm$ SD	Bin dane Ağırlığı (g) $\pm$ SD
<i>ex situ</i> Tohum Bahçesi	TB47	6,63 $\pm$ 0,08	20,68 $\pm$ 0,82
	TB85	8,94 $\pm$ 0,02	11,18 $\pm$ 0,99
<i>in situ</i> Doğal yayılış alanı	TM112	7,70 $\pm$ 0,08	20,91 $\pm$ 0,74
	VO	6,79 $\pm$ 0,13	19,56 $\pm$ 1,00



Şekil 2. a) Tohum Rutubeti (R%) ve b) Bin dane (g) ağırlıklarının tohum kaynağına göre dağılımı.

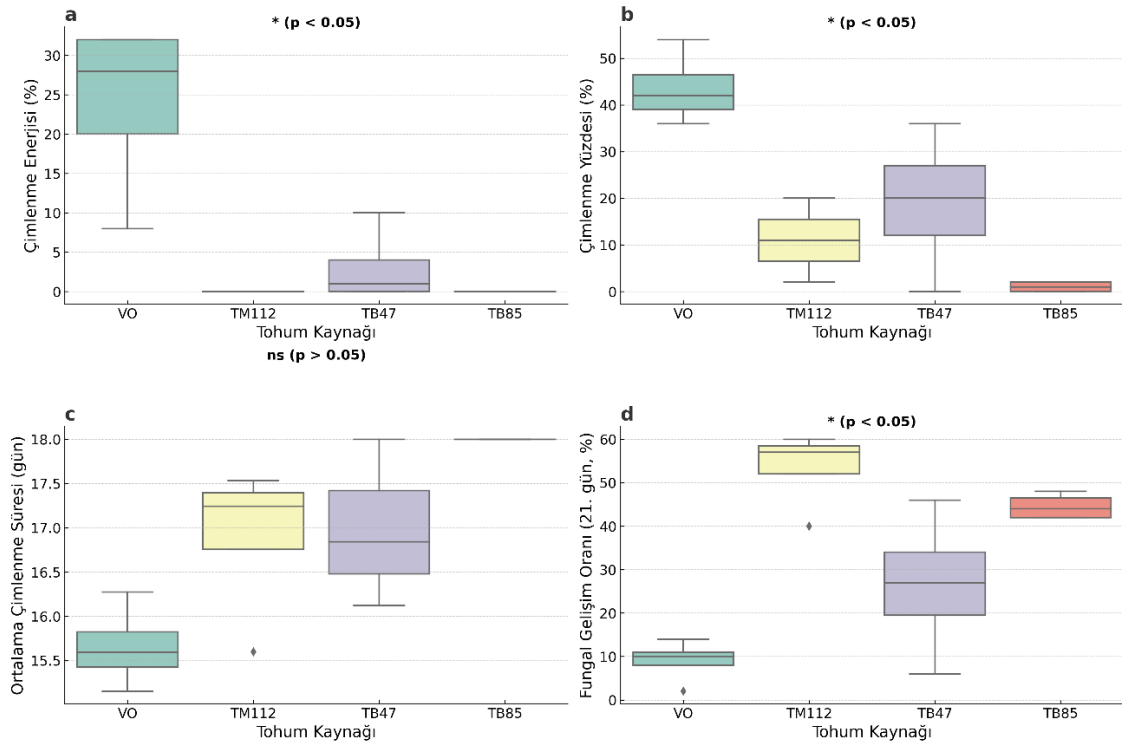
3.2. Tohumların çimlenme özellikleri

Farklı tohum kaynaklarından elde edilen Ehlami karaçam tohumlarının çimlenme enerjisi (ÇE%), çimlenme yüzdesi (ÇY%), ortalama çimlenme süresi (OÇS) ve fungal kolonizasyon yüzdesi (FK%) değişkenleri incelendiğinde (Tablo 3), en yüksek çimlenme performansının VO kaynaklı tohumlarda gözlemlendiği anlaşılmaktadır. VO kaynaklı tohumlarda çimlenme enerjisi %24,00, çimlenme yüzdesi ise %43,50 olarak belirlenmiştir. VO tohumları aynı zamanda en kısa çimlenme süresine (OÇS = 15,65 gün) ve en düşük fungal kolonizasyon yüzdesine (%9,00) sahiptir. TM112 kaynağından elde edilen tohumlarda çimlenme enerjisi değeri 0 olarak belirlenmiş, yani bu tohumlarda ilk 9 gün sonunda çimlenme gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte bu tohumlarda çimlenme

yüzdesi %11,00 olarak tespit edilmiştir. TM112 tohumlarının ortalama çimlenme süresi 16,9 gün olup, fungal kolonizasyon %53,5 ile en yüksek değeri göstermektedir. TB47 kaynaklı tohumlarda ÇE %3,00, ÇY ise %19,00 olarak belirlenmiş; ortalama çimlenme süresi 16,9 gün, fungal kolonizasyon ise %26,5'tir. TB85 kaynaklı tohumlarda çimlenme çok zayıf bulunmuş (ÇE = 0, ÇY = %1,00), fungal kolonizasyon ise yüksek çıkmıştır (%44,5) (Tablo 3, Şekil 3). Tohumların kaynaklarına göre çimlenme özellikleri arasındaki farklılıklar Kruskal-Wallis testi ile değerlendirildiğinde, hem çimlenme enerjisi (ÇE%) ve çimlenme yüzdesi (ÇY%) hem de fungal kolonizasyon (FK%) açısından tohum kaynakları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu belirlenmiştir (ÇE%: $H = 9,008$, $p = 0,029$; ÇY%: $H = 8,018$, $p = 0,046$; FK%: $H = 9,216$, $p = 0,027$).

Tablo 3. Farklı tohum kaynaklarına ait tohumların çimlenme özellikleri; çimlenme enerjisi (ÇE%), çimlenme yüzdesi (ÇY%), ortalama çimlenme süresi (OÇS) ile fungal kolonizasyon yüzdesine (FK%) ilişkin ortalama $\pm$ standart sapma (SD) değerleri.

Tohum Kaynağı tipi	Tohum Kaynağı	ÇE (%) $\pm$ SD	ÇY (%) $\pm$ SD	OÇS (gün) $\pm$ SD	FK (%) $\pm$ SD
<i>ex situ</i>	TB47	3,00 $\pm$ 4,19	19,00 $\pm$ 13,29	12,74 $\pm$ 7,50	26,50 $\pm$ 14,54
Tohum bahçesi	TB85	0	1,00 $\pm$ 1,02	9,00 $\pm$ 9,14	44,50 $\pm$ 2,64
<i>in situ</i>	TM112	0	11,00 $\pm$ 6,81	16,91 $\pm$ 0,78	53,50 $\pm$ 8,05
Doğal	VO	24,00 $\pm$ 9,96	43,50 $\pm$ 6,80	15,65 $\pm$ 0,41	9,00 $\pm$ 4,43



Şekil 3. Farklı tohum kaynaklarına göre: a) Çimlenme enerjisi (ÇE, %), b) Çimlenme yüzdesi (ÇY, %), c) Ortalama çimlenme süresi (OÇB, gün) ve d) fungal kolonizasyon oranı (FK %) değişkenlerinin dağılımını gösteren kutu grafikleri.

3.3 Tohum kalite ve tohum çimlenme özellikleri ile fungal kolonizasyon arasındaki ilişki

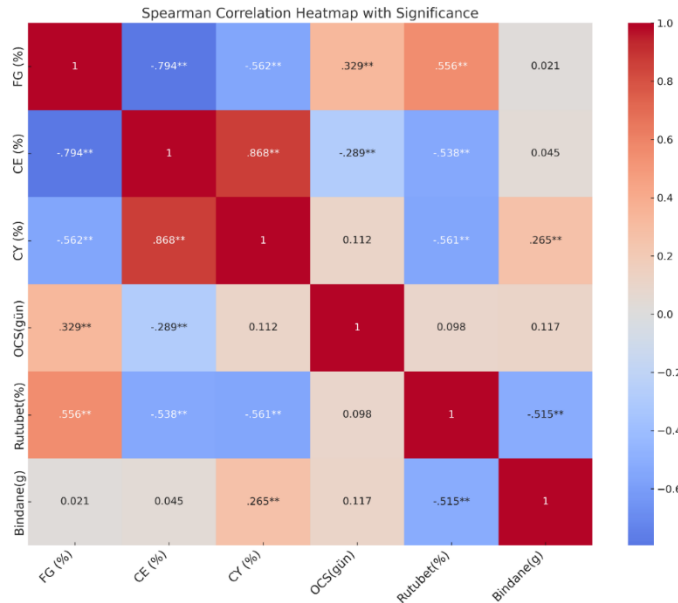
Fungal kolonizasyon ile çimlenme özellikleri, rutubet (%) ve bin dane ağırlığı arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla Spearman korelasyon analizi uygulanmış ve sonuçlar ısı haritası ile görselleştirilmiştir (Tablo 4, Şekil 4). Spearman korelasyon analizi, incelenen değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı birkaç ilişki olduğunu göstermiştir. Fungal kolonizasyon yüzdeleri ile tohumların çimlenme enerjileri ve yüzdeleri arasında güçlü bir negatif korelasyon gözlenmiştir (sırasıyla; $\rho = -0,794$, $p < 0,01$; $\rho = -0,562$, $p < 0,01$). Bununla

birlikte, fungal kolonizasyon ile ortalama çimlenme süresi arasında zayıf pozitif bir korelasyon gözlenmiştir ($\rho = 0,329$, $p < 0,01$). Diğer taraftan, fungal kolonizasyon ile tohum rutubet yüzdesi arasında kuvvetli düzeyde pozitif bir korelasyon bulunurken ($\rho = 0,556$, $p < 0,01$), fungal kolonizasyon ile bin dane ağırlığı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($\rho = 0,021$, $p > 0,05$). Bu sonuçlar, fungal kolonizasyonun tohum çimlenme performansını olumsuz etkilediğini ve nem içeriğinin bu etkiyi artırabileceğini belirtirken, tohum ağırlığının bu dinamikten bağımsız olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Fungal kolonizasyon (%), çimlenme parametreleri (ÇE, ÇY ve OCS) ile tohum fiziksel özellikleri (R% ve bin dane ağırlığı) arasındaki korelasyon matrisi

	FK (%)	ÇE (%)	ÇY (%)	OÇS (gün)	R (%)	Bin dane (g)
FK (%)	1	-0,794**	-0,562**	0,329**	0,556**	0,021
ÇE (%)	-0,794**	1	0,868**	-0,289**	-0,538**	0,045
ÇY (%)	-0,562**	0,868**	1	0,112	-0,561**	0,265**
OÇS (gün)	0,329**	-0,289**	0,112	1	0,098	0,117
R (%)	0,556**	-0,538**	-0,561**	0,098	1	-0,515**
Bin dane (g)	0,021	0,045	0,265**	0,117	-0,515**	1

** Korelasyon $p < 0,01$ seviyesinde anlamlıdır.

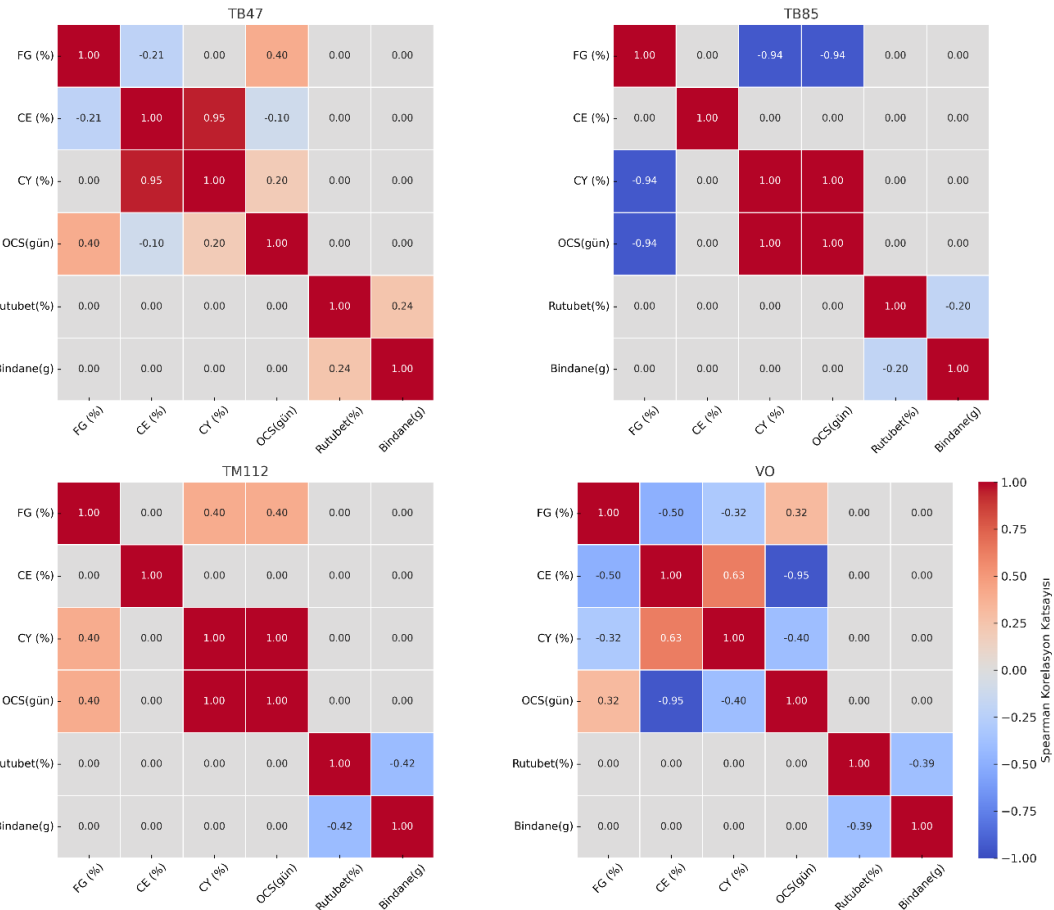


Şekil 4. Farklı tohum kalite parametreleri arasındaki Spearman korelasyon katsayılarını gösteren ısı haritası. Korelasyon katsayıları hücre içinde sayısal olarak belirtilmiştir. İstatistiksel

olarak anlamlı ilişkiler $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) düzeylerinde yıldız işaretleri ile gösterilmiştir. Renk skalası, ilişkinin yönü ve şiddetini ifade eder; koyu mavi tonlar güçlü negatif, koyu kırmızı tonlar güçlü pozitif ilişkileri göstermektedir.

Korelasyon analizleri, farklı tohum kaynakları (VO, TM112, TB47, TB85) için fungal kolonizasyon (FK) ile çimlenme özellikleri, tohum rutubeti ve bin dane ağırlığı arasındaki ilişkilerin kaynak bazında değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur (Şekil 5). Doğal yayılış alanlarından alınan VO tohumlarında, FK ile çimlenme enerjisi (ÇE) arasında güçlü negatif korelasyon ($\rho = -0,500$) ve ÇE ile çimlenme süresi (OÇS) arasında yüksek negatif ilişki ($\rho = -0,949$) gözlenmiştir. TM112 tohumlarında ise FK, çimlenme yüzdesi (ÇY) ve OÇS ile orta düzeyde pozitif korelasyonlar ($\rho = 0,400$) sergilemiştir. Tohum bahçesi kaynaklı TB47’de, ÇE ile ÇY arasında yüksek pozitif korelasyon ($\rho = 0,949$) ve FK ile OÇS arasında pozitif ilişki ($\rho = 0,400$) bulunurken, TB85’te FK, ÇY ve OÇS ile güçlü negatif korelasyonlar ($\rho = -0,943$) göstermiştir. Bu bulgular, Ehrami karaçam tohumlarında fungal kolonizasyon ile tohum kalite özellikleri arasındaki ilişkinin tohum kaynağına özgü farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tohum Kaynaklarına Göre Spearman Korelasyon Isı Haritaları



Şekil 5. Tohum kaynaklarına göre Spearman korelasyon analiz sonuçlarını gösteren ısı haritaları. Her panel, farklı tohum kaynaklarına (VO, TM112, TB47 ve TB85) ait çimlenme ve tohum kalite parametreleri arasındaki Spearman korelasyon katsayılarını göstermektedir. Korelasyon katsayıları hücre içinde sayısal olarak belirtilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı ilişkiler $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) düzeylerinde yıldız işaretleri ile gösterilmiştir. Renk skalası, ilişkinin yönü ve şiddetini ifade eder; koyu mavi tonlar güçlü negatif, koyu kırmızı tonlar güçlü pozitif ilişkileri göstermektedir.

3.4. Tohumlarda yaygın olarak gözlemlenen funguslar

Tohumlarda yaygın olarak gözlemlenen ve morfolojik olarak tanımlanan funguslar; *Trichoderma* Pers. spp., *Trichothecium roseum* (Pers.) Link, *Penicillium* L. spp., *Aspergillus* P. Micheli ex Haller spp., *Alternaria* Nees spp., *Sydowia polyspora* (Bref.) E. Müll., *Fusarium* Link spp.'dir. Bunlara ek olarak, üreme yapısı oluşturmeyen, steril funguslar da tespit edilmiştir.

4. Tartışma

Bin dane ağırlığı, tohum kalitesi ve çimlenme potansiyelini yansıtan kritik bir parametredir. Yücel (1992a), Ehrami karaçam tohumlarının bin dane ağırlıklarının 18,26 g ile 22,36 g arasında değişmekte olup ortalama 20,11 g olarak rapor etmiştir. Diğer taraftan Yücel (1994), Ehrami karaçam tohumlarının neredeyse yarı yarıya açık ve koyu renkli tohumlardan oluştuğunu, açık renkli tohumların büyük bir çoğunluğunun boş (%81), koyu renkli tohumların ise büyük oranda dolu (%99) dolu olduğu ve bin dane ağırlıklarının açık renkli tohumlarda ortalama 13,1 g, koyu renklilerde ise ortalama 24,6 g olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmamızda incelenen Ehrami karaçam tohumların bin dane ağırlıkları 11,18 ile 20,91 g arasında ölçülmüştür. TM112 ve TB47 kaynaklarından elde edilen tohumların, 20 g üzeri ortalama bin dane ağırlıkları ile yüksek besin rezervlerine sahip oldukları söylenebilir. Buna karşılık, TB85 kaynağı, sadece 11,18 g'lık düşük bir ortalama ile hem potansiyel doluluk hem de kalite açısından sınırlı bulunmuştur. Bu çalışmadaki geniş varyasyon, tohumların ayrıştırılmamış olmasından (örneğin boş/dolu, açık/koyu renkli) ve fizyolojik olgunluk farklılıklarından kaynaklanıyor olabilir. Yücel (1992a) tarafından belirtildiği üzere koyu renkli ve dolgun tohumlar daha ağırdır ve daha yüksek çimlenme kapasitesine sahiptir. Ancak bu çalışmada bu özellik değerlendirilmemiş olup gelecek çalışmalarda dikkate alınması gereken bir özellik olarak karımıza çıkmaktadır. Ehrami karaçam tohumlarında fungal kolonizasyon yüzdesi ile bin dane ağırlığı arasındaki ilişkilere bakıldığında, bu iki parametre arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olmadığı anlaşılmaktadır. Nitekim, fungal kontaminasyonların tohum bin dane ağırlığını azaltıcı etkisi olduğu bilinse de genel olarak tohum ağırlığı tek başına fungal kolonizasyon üzerinde belirleyici bir faktör olarak ele alınmamakta, fungal kontaminasyonun oluşumu ve şiddetinin tohum nem içeriği, saklama süresi ve başlangıç mikrobiyal yük gibi diğer etkenlerle birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Tohum nem içeriği, çam tohumlarının canlılığı, çimlenme kapasitesi ve uzun süreli depolanabilirliği üzerinde belirleyici bir etkidir. Özellikle tohumların depolanması söz konusu olduğunda, nem içeriği kritik bir parametre olarak öne çıkar. Yüksek nem seviyeleri, metabolik faaliyetleri ve mikrobiyal gelişimi teşvik ederek tohumun bozulmasını hızlandırabilirken; düşük nem seviyeleri bu süreçleri yavaşlatarak tohumun canlılığını ve dayanıklılığını artırabilir. Çoğu çam tohumu, kurumaya dayanıklı ortodoks tohum kategorisinde yer almakta olup, yaklaşık %6–7 nem içeriğine kadar güvenle kurutulabilir (Temel et al., 2011). Bu tür ortodoks tohumlar, düşük nem içeriğinde (%5–10) ve 3–5 °C gibi soğuk depolama koşullarında saklandığında, genellikle 5 ila 15 yıl boyunca önemli bir bozulma olmaksızın canlılıklarını koruyabilir (Maria De

Oliveira Pires and Lima Baute, 2023). Çalışmada analiz edilen tohumlar 3 ila 15 yıl arasında değişen sürelerde +4 °C'de depolanmış tohumlardır ve bunların nem içerikleri %6,6 ile %8,9 arasında değiştiği belirlenmiştir. Tohum sağlığı açısından, fungal kontaminasyon miktarının, genellikle fungal gelişim için uygun koşullar sağlaması nedeniyle tohum nem içeriğiyle pozitif yönde ilişkili olduğu varsayılır. Nitekim, bu çalışmada tohumların rutubet içerikleri ve fungal kolonizasyon yüzdeleri arasındaki ilişki incelendiğinde, fungal kolonizasyon ile tohum rutubet yüzdesi arasında kuvvetli düzeyde pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum yüksek nem içeriğinin fungal kolonizasyonu teşvik edebileceğini ve dolaylı olarak tohum canlılığını olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir. Nitekim, yüksek (%7 üstünde) nem içeriğine sahip TB85 ve TM112 kökenli tohumlarda fungal kolonizasyon yüzdelerinin de yüksek olduğu (sırasıyla %44,50 ve %53,50), buna karşılık rutubeti %7 altında olan tohumlarda fungal kolonizasyonun daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak bu tohumların depolanma sürelerinin nem ve fungal kolonizasyonla ilişkisi net değildir. Bu sonuçlar, yüksek nem içeriğinin saklama süresinden bağımsız olarak fungal kolonizasyonu artırabileceğini, ancak bu ilişkinin her zaman doğrudan ve tek yönlü olmadığını göstermektedir. Tohumlarda fungal kontaminasyonun ve kolonizasyon şiddetinin; tohumun kaynağının özellikleri (konumu, iklim, toprak özellikleri ve sağlık durumu gibi), tohumun başlangıçtaki mikrobiyal yükü, saklama süresi, depolama koşullarının uygunluğu ve istikrarı, tohumun fizyolojik durumu gibi diğer faktörlere de bağlı olabileceği göz ardı edilmemelidir.

Çalışmada, tohumların çimlenme enerjileri, çimlenme yüzdeleri ve ortalama çimlenme sürelerinin farklı tohum kaynaklarında sırasıyla %0 - %24, %1-%43,5 ve 9 – 17 gün arasında olduğu ve tohum çimlenme özellikleri açısından kaynaklar arasındaki farklılıkların anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen çimlenme özelliklerine ilişkin değerler, Ehrami karaçam tohumlarının daha önce belirlenen çimlenme oranlarına kıyasla oldukça düşük olup, Ehrami karaçamının sınırlı yayılışına rağmen tohumlarının çimlenme potansiyelinin yüksek olduğu yönündeki bilgilerle uyumlu değildir (Yücel 1992a, 1995a, 1994, 1999b). Nitekim, Yücel (1992a) ilk 4 günün sonunda tohumların %68,8 ile %38,2 sinin ortalama olarak da %56,7'nin çimlendiğini, çimlenme hızının (çimlenme enerjisi) %56,7 ila %56,7 arasında ortalama %60,3, çimlenme kabiliyetinin (çimlenme yüzdesi) ise %87,5 ile %74,5 arasında ortalama %87,5 olarak belirlenmiş ve bu sonuç çimlenme hızının farklı olmasına karşın çimlenme kabiliyetinin yüksek ve çimlenme probleminin bulunmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu çalışmanın bulguları, Ehrami karaçamının doğal yayılış alanındaki tohumların çimlenme enerjisi ve çimlenme yüzdesi değerlerinin aynı alanın 30 yıl öncesinde belirlenen değerlerinden yaklaşık %36 oranında daha düşük, bunun da ötesinde tohum bahçelerinden toplanan tohumlarda bu farkın çimlenme enerjisi bakımından %60, çimlenme yüzdesi bakımından %80'e ulaştığını göstermiştir. Bu azalma, tohumların depolanma sürecinde çimlenme kabiliyetlerinde meydana gelen azalma ile ilişkili olabilir. Öyle ki uzun süre depolanan çam tohumlarında çimlenme enerjisi ve yüzdelerinin önemli oranlarda azalabildiği bilinmektedir. Örneğin Temel et al., (2011) tarafından yapılan bir araştırmada 10 yıl depolanan karaçam tohumlarında çimlenme enerjisinin %80'den %30,7'ye

(%49,3 azalma), çimlenme yüzdesinin ise %96'dan %58,4'e (%37,6 azalma) düştüğü bildirilmiştir. Bu çalışmada incelenen *in situ* kaynaklı Ehrami karaçam tohumlarından TM112 örneği 15 yıldır, VO örneği ise 4 yıldır depolanmaktadır. TM112 tohumlarında çimlenme enerjisi %0, çimlenme yüzdesi ise yalnızca %11 olarak tespit edilmiştir. Daha kısa süreyle (4 yıl) depolanan VO örneğinde ise çimlenme enerjisi %24,00, çimlenme yüzdesi ise %43,50 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, Yücel (1992a) tarafından aynı doğal yayılış alanında bildirilen ortalama çimlenme enerjisi (%60,3) ve çimlenme yüzdesi (%87,5) ile karşılaştırıldığında, TM112 örneğinde sırasıyla %100 ve %87 oranında, VO örneğinde ise yaklaşık %60 ve %50 oranında azalma olduğunu göstermektedir. İncelenen tohum örneklerinde gözlemlenen düşük çimlenme oranları ve canlılık değerleri yalnızca uzun süreli depolamaya bağlı olmayabilir. Özellikle doğal yayılış alanından elde edilen TM112 ve VO kaynaklarının çimlenme performansındaki düşüş, tohum üreten anaç ağaçların maruz kaldığı çevresel stres faktörlerinin de bir sonucu olabilir. Nitekim son yıllarda yaşanan iklim değişikliği, artan sıcaklıklar, azalan yağış miktarları ve sıklaşan kuraklık dönemleriyle birlikte tohum gelişimini doğrudan etkilemektedir (Lucas-Borja et al., 2017). Lucas-Borja et al. (2023), çam türlerinde artan ısı ve su stresi altında tohumların embriyo gelişiminin zayıfladığını, rezerv madde birikiminin azaldığını ve bu nedenle tohumların çimlenme yüzdesi ve canlılık kapasitesinin düştüğünü bildirmiştir. Ayrıca, bu stres koşulları kozalak oluşumunda azalma, dölleme başarısında düşüş ve erken kozalak dökümü gibi mekanizmalar yoluyla da tohum verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer taraftan yaklaşık 20 yıl önce yapılan bir değerlendirmede Vakıf ormanı ve TM112 nolu tohum bahçesinin bulunduğu alanlarda ağaçlardaki su stresinin etkisini katlayarak artırabilecek ökse otu enfeksiyonlarının varlığı ve bölgedeki gümüş madeni ve termik santrallerin neden olduğu kirleticilerin Ehrami karaçamlarda kurumalara yol açan önemli stres faktörleri olduğu belirtilmiştir (Ünaldı, 2004). Su, tuz ya da sıcaklık stresinin karaçam ve diğer bazı çam türlerine ait tohumların çimlenme hızı ve yüzdesinde önemli azalmalara yol açabildiği bilinmektedir (El Khoury et al., 2021; Neufeld et al., 2000; Ribeiro et al., 2023; Topacoglu et al., 2016; Ulsan, 2022; Zas et al., 2013). Diğer taraftan, *Diplodia sapinea* gibi patojenik funguslar ya da *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (Çam kozalak emici böceği) gibi zararlılar da tohumların hayatiyetini önemli ölçüde azaltabilen biyotik faktörlerdir (Avcı et al., 2024; Oskay and Karataş, 2021). Dolayısıyla, 30 yıl önce elde edilen yüksek çimlenme oranlarıyla kıyaslandığında güncel verilerde gözlenen azalmalar, yalnızca depolama süresiyle değil, aynı zamanda tohumların üretildiği çevresel koşullardaki bozulmalarla da ilişkilendirilebilir. Bu durum, özellikle marjinal ve sınırlı yayılışlı türlerin popülasyon yenilenme kapasitesi açısından uzun vadede ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Diğer taraftan *Ex situ* kaynaklı tohumlarda gözlemlenen düşük çimlenme enerjisi ve çimlenme yüzdesine ilişkin olarak, geçmiş dönemlere ait karşılaştırmalı veriler bulunmadığından doğrudan bir azalma eğilimi saptanması mümkün değildir. Ancak, bu tohum bahçelerinde elde edilen tohumların düşük performansı; genetik materyalin doğal popülasyona kıyasla çevresel koşullara daha az uyum sağlaması, bahçelerin bulunduğu bölgelerdeki mikroklimatik farklılıklar, tohum olgunlaşma dönemindeki stres faktörleri ve muhtemel bakım eksiklikleriyle ilişkili olabilir. Bu

bulgular, *ex situ* tohum kaynaklarının etkinliğini değerlendirmede yalnızca genetik değil, aynı zamanda çevresel ve yönetsel faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Korelasyon analizleri, fungal kolonizasyon ile çimlenme enerjisi ve yüzdesi arasında güçlü negatif yönlü, ancak ortalama çimlenme süresi ile zayıf pozitif yönlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, fungal kolonizasyonun tohum çimlenme performansını olumsuz etkilediğini ve nem içeriğinin bu etkiyi artırabileceğini belirtirken, tohum ağırlığının bu dinamikten bağımsız olduğunu göstermektedir. Bu çalışmamızda, VO kaynağı en yüksek çimlenme enerjisi (%24,00) ve çimlenme yüzdesi (%43,50) ile çimlenme açısından en başarılı grup olarak öne çıkmıştır. Aynı zamanda bu grup, en düşük fungal kolonizasyon (%9,00) ile de dikkat çekmiştir. Buna karşılık, TB85 grubunda %1 gibi çok düşük oranda çimlenme gözlemlenmiş ve yüksek düzeyde fungal kolonizasyon (%44,5) tespit edilmiş olup bu durum fungal kolonizasyonun çimlenmeyi baskılayıcı etkisine işaret ediyor olabilir. Diğer taraftan TM112 tohumlarında çimlenme enerjisi 0 iken çimlenme yüzdesinin %11 olması, çimlenmenin gecikmeli başladığını göstermektedir. Bu durum, fungal kontaminasyonun doğrudan öldürücü değil, çimlenmeyi geciktirici etki yaratabileceği fikrini desteklemektedir (Crocker et al., 2016; Yang et al., 2024). Ayrıca, fungal kolonizasyon ile ortalama çimlenme süresi arasındaki pozitif korelasyon, fungal kontaminasyonların çimlenme süresini uzatabileceği görüşünü destekler niteliktedir.

Fungal kolonizasyon tüm tohum kaynaklarında kaydedilmiş, şiddeti ve etkileri farklılık göstermiştir. Bazı tohum gruplarında yüksek fungal kolonizasyon ile birlikte düşük çimlenme oranları gözlenirken, TM112 gibi kaynaklar, fungal varlığa rağmen yüksek çimlenme performansı göstermiştir. Bu durum, mevcut fungusların doğrudan patojenik olmadığını veya etkilerinin daha çok baskılayıcı (geciktirici) olabileceğini göstermektedir. Benzer geciktirici etkiler, çam ve orkide türleri üzerinde yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Crocker et al., 2016; Tian et al., 2023; Yang et al., 2024). Örneğin Oskay ve Karataş (2021), karaçam ve sarıçam tohum bahçelerinden temin edilen tohumların %70'inin (sırasıyla ortalama %72 ve %57) *D. sapinea* ile bulaşık olduğu tespit etmişler, *D. sapinea* ile bulaşık karaçam tohumların bin dane ağırlıklarını 8,0-10,0 g, çimlenme enerjilerini %1,0-2,0 ve çimlenme yüzdeslerini %3,0-5,0 arasında belirlemişlerdir. Diğer taraftan *D. sapinea* tespit edilmeyen karaçam tohumlarında bin dane ağırlığı 21,1 g, çimlenme enerjisi %77 ve çimlenme yüzdesi %79 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda bu tohumları kolonize eden funguslar arasında *D. sapinea* tespit edilmemiştir. Bununla birlikte bu tohumlarda *Sydowia polyspora* ile *Alternaria* ve *Fusarium* cinslerine dahil tohumlarda çimlenmeyi engelleyici ya da geciktirici etkisi bilinen çeşitli funguslar belirlenmiştir. *S. polyspora*'nın tohum hayatiyetini etkilememekle birlikte çimlenmeyi azaltıcı etkisi olduğu bilinmekte ve bu fungus çam tohumlarında çıkış öncesi patojenik bir fungus olarak tanınmaktadır (Ridout and Newcombe, 2018).

Ehrami karaçam tohumlarda morfolojik olarak tanılanan funguslar, Türkiye'de çeşitli çam türlerinde tespit edilen funguslarla benzerlik göstermektedir (Aday Kaya and Karaman, 2023; Akıllı and Katircioğlu, 2006; Argun et al., 2014; Oskay and Karataş, 2021; Velioğlu, 2001). Tohumlarda tespit edilen

funguslar arasında hem potansiyel patojenler (örn. *Fusarium spp.*, *Alternaria spp.*, *Sydowia polyspora*) hem de potansiyel yararlı türler (*Trichoderma spp.*) yer almıştır. Bu çeşitlilik, tohum mikrobiyotasının hem çimlenme başarısını tehdit eden hem de potansiyel olarak destekleyen işlevlere sahip olduğunu göstermektedir (Bastide et al., 2019; Dias Parisi et al., 2018). Ancak bu çalışmada, tür düzeyinde teşhis yapılmadığı için bu fungusların rolü spekülatif kalmaktadır. Tohumlarla ilişkili fungal toplulukların zararlı patojenlerden, nötr ya da simbiyotik organizmalara kadar geniş bir spektrumda olabileceği dikkate alındığında, bu mikrobiyal etkileşimlerin karmaşık yapısı daha da belirginleşmektedir (Cleary et al., 2019; de la Bastide et al., 2019). Diğer taraftan çevresel koşullar ve tohumların kaynağını teşkil eden ağaçların fizyolojik durumu da fungal toplulukların bileşen ve yapılarını etkilemiş olabilir. Özellikle stresli veya nemli ortamlarda oluşan tohumlar, daha zengin veya daha saldırgan mikrobiyotaya sahip olabilir. Doğal yayılış alanı oldukça dar olan Ehrami karaçamı gibi türler için bu durum, koruma açısından kritik bir öneme sahiptir. Nitekim, başka bir endemik varyete olan *P. nigra* var. *yaltirikiana* üzerine yapılan bir araştırmada çimlenebilen tohumlardan elde edilen fidanların önemli bir kısmının fungal nedenlerle yaşamlarını sürdüremedikleri bildirilmiştir (Oral, 2019).

Bu çalışma temel bilgiler sunsa da bazı sınırlamaları mevcuttur. Örneğin, tohumlar renk veya doluluklarına göre ayrılmamış ve çimlenme testlerinden önce doluluk veya canlılık analizleri yapılmamıştır. Gelecekteki araştırmalarda, tohum kabuğu özellikleri, iç besin içeriği ve genetik varyasyon gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. Ayrıca, mevcut fungal türlerin moleküler yöntemlerle tanımlanması ve bu türlerin ekolojik rollerinin belirlenmesi, gözlenen etkilerin zararlı mı yoksa simbiyotik mi olduğunu aydınlatacaktır. Diğer taraftan bu çalışmada tespit edilen fungusların doğrudan tohumların çimlenme yetenekleri üzerindeki etkileri de araştırılmamıştır. Bunların da ötesinde, çalışmada 4 ila 15 yıldır depolanan Ehrami karaçam tohumları kullanılmış ancak bu tohumların ilk toplandığı yıla ait kalite özellikleri bilinmemektedir. Tohumların nem içerikleri ve çimlenme özelliklerine ait ilk toplanma yılına ait veriler bu çalışmanın bulgularının daha güvenilir bir şekilde yorumlanmasında faydalı olabilir. Bu çerçevede, bu çalışmada incelenen Ehrami karaçam tohumlarının ilk toplandıkları yılda belirlenmiş kalite özelliklerine ilişkin veriler ORTOHUM'dan talep edilerek değerlendirmelere dahil edilmesi düşünülebilirdi. Gelecekte, tohumla ilgili olarak yapılan çalışmalarda özellikle tohumların ilk toplanma dönemine ait rutubet, bin dane ve çimlenme enerjisi, yüzdesi gibi bilgilerin temin edilmesine özen gösterilmesi önerilebilir.

Çalışmanın bulguları, tohum kaynağı seçiminin, depolama koşullarının ve tohum sağlığı değerlendirmelerinin ormancılık uygulamalarında dikkate alınması gerektiğini göstermesi bakımından önemlidir. Özellikle, çimlenme başarısını olumsuz etkileyen fungal kontaminasyon riskine karşı sıcak su uygulaması, biyolojik kontrol etmenleri ve fungisit uygulaması gibi yöntemlerin entegre edilmesi önerilebilir.

5. Sonuç

Bu çalışma, endemik ve tehdit altındaki Ehrami karaçam (*P. nigra* subsp. *pallasiana* var. *fastigiata*) tohumlarında çimlenme başarısının, tohumun nem içeriği, bin dane ağırlığı ve fungal

kolonizasyon düzeyleri gibi çoklu faktörlerden etkilendiğini ortaya koymuştur. Tohum kaynakları arasında gözlenen farklılıklar hem *in situ* hem de *ex situ* korunmuş materyalin kalitesinin, saklama süresi, çevresel stres koşulları ve tohum sağlığı ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Fungal kolonizasyonun yüksek olduğu örneklerde düşük çimlenme enerjisi ve yüzdesi gözlemlenmiş; özellikle nem içeriği %8'in üzerinde olan tohumlarda bu eğilim belirginleşmiştir. Ancak, nem düzeylerinin çam türleri için kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu dikkate alındığında, bu etkinin başlangıç mikrobiyal yük, saklama koşulları ve anaç sağlığı gibi diğer faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. *Ex situ* kaynaklı tohumların çimlenme başarısındaki düşüklük, geçmiş dönem verileriyle kıyaslama eksikliği nedeniyle mutlak olarak yorumlanamasa da mikroklima, tohum bahçesi yönetimi ve genetik uyum eksikliği gibi olası nedenleri işaret etmektedir.

Elde edilen bulgular, sadece bilimsel bilgiye değil, aynı zamanda doğaya duyarlı ormancılık uygulamaları ve tür koruma stratejilerine de katkı sunabilir. Ehrami karaçamının sürdürülebilir korunması için, tohum biyolojisi, patolojisi ve ekolojisini bütüncül biçimde ele alan ve başlangıç materyaline ait veri kaydının sistematik biçimde tutulduğu uzun vadeli izleme programları geliştirilmelidir. Bu yaklaşım, iklim değişikliği ve biyotik stresler gibi küresel tehditlere karşı yerel düzeyde etkili ve dirençli çözümler üretmede temel bir adım olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından 1919B012203679 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Makalenin hazırlanması sırasında yardımcı olan Doç. Dr. Ebru Gül'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Acatay, A., 1956. *Pinus nigra*'nın Türkiye'deki varyeteleri ve özellikleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 30, 1–34.
- Aday Kaya, A.G., Karaman, A., 2023. Occurrence of fungi, with emphasis on *Diplodia pinea*, in pine seeds from forest nurseries of Turkey. Kuwait Journal of Science 50, 1–4.
- Akıllı, S., Katırcıoğlu, Y.Z., 2006. Türkiye'de Ağaçlandırma Çalışmalarında Kullanılan Bazı İğne Yapraklı Orman Ağaçları Tohumlarında Fungal Floranın Tespiti. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 6, 63–73.
- Akkemik, Ü., Yılmaz, H., Oral, D., Kaya, A., 2011. Some Changes in Taxonomy of Pines (*Pinus* L.) Native to Turkey. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 61, 63–78.
- Argun, N., Ceylan, S., Velioğlu, E., Aydın, Ü., 2014. Karaçam [*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *nigra* var. *pallasiana* (Loudon) Rehder] tohum meşçere ve bahçelerinde üretilen tohumlarda bulunan fungusların tespiti ve fidanlardaki patojeniteleri. Presented at the Türkiye II. Orman Entomolojisi ve Patolojisi Sempozyumu, Orman Genel Müdürlüğü, pp. 748–758.
- Avcı, M., Oğuzoğlu, Ş., İpekdağ, K., Can, T., Selek, F., Hızal, E., Aksu, Y., Oskay, F., Kaya, A.G.A., Lehtijarvi, T.D., Lehtijarvi, A.T., 2024. *Leptoglossus occidentalis*

- Heidemann, 1910 (Hemiptera: Coreidae) in Türkiye: Its distribution, life cycle, and fungal associations. *Forest* 11, 131–140.
- Bastide, P.Y., LeBlanc, J., Kong, L., Finston, T., May, E.M., Reich, R., Hintz, W.E., von Aderkas, P., 2019. Fungal colonizers and seed loss in lodgepole pine orchards of British Columbia. *Botany* 97, 23–33.
- Bilir, N., Çatal, Y., Tekocak, S., Cercioğlu, M., 2017. Fertility variation in endemic populations of Ehrhami black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* var. *pyramidata*). *J. For. Res.* 28, 683–686.
- Businsky, R., 2008. Taxonomic revision of the *Pinus nigra* Arnold complex. *Acta Pruhoniana* 88, 5–56.
- Cleary, M., Oskay, F., Doğmuş, H.T., Lehtijärvi, A., Woodward, S., Vettraino, A.M., 2019. Cryptic Risks to Forest Biosecurity Associated with the Global Movement of Commercial Seed. *Forests* 10, 459.
- Crocker, E., Lanzafane, J.J., Karp, M.A., Nelson, E.B., 2016. Overwintering Seeds as Reservoirs for Seedling Pathogens of Wetland Plant Species. *Ecosphere*.
- Dağdaş, S., 2016. Ehrhami karaçamın (Vakıf karaçamı) (*Pinus nigra* arnold ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pyramidata*) yayılışı, yetiştirme muhiti istekleri, silvikültürü ve karaçamlarda toplu kurumalar. *Orman Mühendisliği Dergisi* Nisan/Mayıs/Haziran, 23–33.
- Dias Parisi, J.J., Fischer, I.H., Medina, P.F., Firmino, A.C., Meletti, L.M., 2018. Pathogenicity and Transmission of Fungi Detected on Passiflora Alata Seeds. *Arquivos Do Instituto Biológico*.
- El Khoury, Y., Noujeim, E., Bubici, G., Tarasco, E., Al Khoury, C., Nemer, N., 2021. Potential Factors behind the Decline of *Pinus pinea* Nut Production in Mediterranean Pine Forests. *Forests* 12, 1167.
- Ergin, Ö.F., 2004. Ehrhami karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pyramidata*) aşılı fidan üretim tekniği (masterThesis). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu.
- Genç, M., Cengiz, N., Bilir, N., Gülcü, S., 1999. Field performans of *Pinus nigra* Arnold, subsp. *pallasiana* var. *pyramidata* plantations in Golcuk, Isparta: 8 years result, in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Erhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Presented at the 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Erhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)), Kütahya, pp. 60–64.
- Gülsoy, S., Gülsoy, A., Çengel, B., Kaya, Z., 2014. The evolutionary divergence of *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* and its varieties based on noncoding trn regions of chloroplast genome. *Turkish Journal of Botany* 38, 627–636.
- ISTA, 1996. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* (Supplement), 24, 1–365.
- Karadağ, M., 1999. Ehrhami Karaçamın Kastamonu-Oyrak Mikro Havzasındaki Yayılışı, in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Presented at the 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)), Kütahya.
- Karadağ, M., 1993. Kastamonu Orman işletmesi Gököy Şefliğindeki değişik Piramidal Karaçam Meşcereleri (Yüksek Lisans). İstanbul Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kartal, R., Bilir, N., 2022. Isparta Yöresi Ehrhami Karaçam Ağaçlandırmalarının Değerlendirilmesi: 30. Yıl Sonuçları. *Jonas* 5, 10–17.
- Küçükbara, B., Tatlı, A., 1999. Ehrhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. var. *pyramidata* (Acat.) Yaltırık.) Populasyonunun Floristik Yapısı., in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Erhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Kütahya, pp. 23–25.
- Lucas-Borja, M.E., Candel-Pérez, D., Tiscar, P.A., Prévosto, B., Hedo, J., 2017. *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* early recruitment and initial seedling growth in warmer and drier locations: the role of seed and soil provenance. *Plant Ecol* 218, 761–772.
- Maria De Oliveira Pires, R., Lima Baute, J., 2023. Importance of Seed Quality For The Forestry Sector. *Bol.Téc.SIF* 03, 1–06.
- Neufeld, H.S., Lee, E.H., Renfro, J.R., Hacker, W.D., 2000. Seedling insensitivity to ozone for three conifer species native to Great Smoky Mountains National Park. *Environmental Pollution* 108, 141–151.
- Oral, D., 2019. Determining the factors affecting reproduction of an endemic black pine variety [*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *Yaltirikiana*] in Turkey. *Appl. Ecol. Env. Res.* 17.
- ORTOHUM, 2025. Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Anasayfa [WWW Document]. URL <https://www.ogm.gov.tr/ortohum/> (accessed 6.22.25).
- Oskay, F., Karataş, A., 2021. Incidence of *Diplodia sapinea* in *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* and *Pinus sylvestris* seed. *Turkish Journal of Forestry* 22, 218–228.
- Ribeiro, S., Gaspar, M.J., Lima-Brito, J., Fonseca, T., Soares, P., Cerveira, A., Fernandes, P.M., Louzada, J., Carvalho, A., 2023. Impact of Fire Recurrence and Induced Water Stress on Seed Germination and Root Mitotic Cell Cycle of *Pinus pinaster* Aiton. *Forests* 14, 78.
- Ridout, M., Newcombe, G., 2018. *Sydowia polyspora* is both a Foliar Endophyte and a Preemergent Seed Pathogen in *Pinus ponderosa*. *Plant Dis.* 102, 640–644.
- Sevgi, O., Tecimen, B., Okan, T. (Eds.), 2022. Karaçam. Türkiye Ormancılar Derneği (TOD), Ankara.
- Sivacioğlu, A., Ayan, S., Ergin, Ö.F., Ertekin, M., 2004. Ehrhami Karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pyramidata*) Aşılı Fidan Üretimi. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 4, 90–100.
- Tatlı, A., Küçükbara, B., Tel, A.Z., 1999. *Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. var. *pyramidata* (Acat.) Yaltırık'ın Vejetasyon Yapısı, in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Erhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Presented at the 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Erhami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)), Kütahya, pp. 163–176.
- Temel, F., Gülcü, S., Ölmez, Z., Göktürk, A., 2011. Germination of Anatolian Black Pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*)

- Seeds from the Lakes Region of Turkey: Geographic Variation and Effect of Storage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 39, 267–274.
- Tian, F., Wang, J.-C., Bai, X.-X., Yang, Y., Huang, L., Liao, X., 2023. Symbiotic Seed Germination and Seedling Growth of Mycorrhizal Fungi in *Paphiopedilum Hirsutissimum* (Lindl. Ex Hook.) Stein From China. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), e2293405.
- Topacoglu, O., Sevik, H., Akkuzu, E., 2016. Effects of water stress on germination of *Pinus nigra* Arnold. Seeds. *Pakistan Journal of Botany* 48, 447–453.
- Tosun, S., Karadağ, M., 1991. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*)’ın Yeni Bir yayılış Alanı. *Araştırma Bülteni* 114.
- Ucar, G., Balaban, M., 2004. Volatile needle extractives of Anatolian black pine varieties: *P. nigra* subsp. *pallasiana* var. *pallasiana* and var. *pyramidata*. *Biochemical Systematics and Ecology* 32, 983–992.
- Uluslan, M.D., 2022. Responses of the germination and phytochemical content of *Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. (Anatolian black pine) seeds to salt stress. *J. For. Sci.* 68, 365–375.
- Unaldi, U.E., Toroglu, S., 2009. Studies on antimicrobial activity of pyramidal black pine (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*): an endemic plant close to become extinct. *J Environ Biol* 30, 197–204.
- Ünalı, Ü.E., 2004. Nesli Tehlikedeki Ağaç: Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 14, 67–80.
- Velioğlu, E., 2001. Detection of Fungal Flora in Certain Forest Tree Seeds. Ministry of Forestry, Publication, Ankara.
- Yaltırık, F., 1986. Ülkemizde Az Tanınan İki Çam Varyetesi: Ebe Karaçamı ve Ehrami Karaçam. *Çevre Koruma Dergisi*, 28, 19-25.
- Yang, J., Li, N.-Q., Gao, J., 2024. Roles of Mycorrhizal Fungi on Seed Germination of Two Chinese Medicinal Orchids: Need or Do Not Need a Fungus? *Frontiers in Plant Science*.
- Yılmaz, H., 2022. Karaçamın (*Pinus nigra* J. F. Arnold) Sistematigi Üzerine Tartışmalar. in: Sevgi, O., Tecimen, B., Okan, T. (Eds.), *Karaçam. Türkiye Ormancılar Derneği (TOD)*, Ankara.
- Yücel, E., 2022. Ebe karaçam (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *şeneriana*) ve Ehrami karaçam’ın (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*) ekolojisi. in: Sevgi, O., Tecimen, B., Okan, T. (Eds.), *Karaçam. Türkiye Ormancılar Derneği (TOD)*, Ankara.
- Yücel, E., 1999a. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*)’ın Coğrafik Varyasyonları. in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Presented at the 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)), Kütahya, pp. 730–739.
- Yücel, E., 1999b. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*)’da Gelişim Farklılıklarının Gövde Modellerinde İzlenmesi. in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Presented at the 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)), Kütahya, pp. 740–754.
- Yücel, E., 1999c. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*)’ın Tohum Çimlenmesi Üzerinde Farklı Tuz (NaCl) ve Asit (H₂SO₄. KNO₃) Konsantrasyonlarının Etkileri. in: 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. Ssp. *pallasiana* (Lamb.)). Presented at the 1st. International Symposium on Protection of Natural Environment & Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.)), Kütahya, pp. 722–729.
- Yücel, E., 1996. The Effects of Ecological Factors on the Growth Properties *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata* (Acat.) Yaltırık. in: IV. Plant Life of South West Asia. Presented at the IV. Plant Life of South West Asia, Ege University Press, İzmir, pp. 725–740.
- Yücel, E., 1995a. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pyramidata* (Acat.) Yaltırık)’ın Doğal Yayılışı ve Ekolojik Özellikleri. *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir.
- Yücel, E., 1995b. Ehrami Karaçam’ın (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pyramidata* “Acatay” Yaltırık) Türkiye İçin Önemi. in: 1. Tavşanlı Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Presented at the Tavşanlı Hepimizin 1. Tavşanlı Araştırmaları Sempozyumu, Kütahya, pp. 353–370.
- Yücel, E., 1994. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe var. *pyramidata* (Acat) Yaltırık)’ın Tohum Çimlenme Ekolojisi. in: XII. Ulusal Biyoloji Kongresi. Presented at the XII. Ulusal Biyoloji Kongresi, Edirne, pp. 33–38.
- Yücel, E., 1992a. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold Subsp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe var. *pyramidata* (Acat) Yaltırık, Stat.nova)’nın dağal yayılışı ve ekolojik özellikleri (Doktora Tezi). *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*, Eskişehir.
- Yücel, E., 1992b. Ehrami Karaçam’ın (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pyramidata* (Acat.) Yaltırık) Doğal Yayılışı. *Ankara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi* 4, 93–118.
- Yücel, E., 1988. *Pinus nigra* var. *pallasiana* *pyramidata* Ormanı Milli Park Olmalıdır. *Tabiat ve İnsan* 22, 5–9.
- Zas, R., Cendán, C., Sampedro, L., 2013. Mediation of seed provisioning in the transmission of environmental maternal effects in Maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton). *Heredity* (Edinb) 111, 248–255.