

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MUĞLA YÖRESİ KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORJİNLERİNDEN
ÖRNEKLENEN TOHURLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETÜL SOĞUKSULU

KASIM 2025

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MUĞLA YÖRESİ KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORİJİNLERİNDEN
ÖRNEKLENEN TOHUMLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

BETÜL SOĞUKSULU

ORCID :

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ORMAN YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 / 09 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 03 / 11 / 2025

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ercan OKTAN

ORCID :

Trabzon 2025

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Orman Mühendisliği Anabilim Dalında
Betül Soğuksulu Tarafından Hazırlanan**

**MUĞLA YÖRESİ KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORJİNLERİNDEN ÖRNEKLENEN
TOHUMLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 02 / 10 / 2025 gün ve 2122 sayılı kararıyla oluşturulan
jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali Ömer ÜÇLER

Üye : Prof. Dr. Nebi BİLİR

Üye : Doç. Dr. Ercan OKTAN

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Ercan OKTAN'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Araştırmanın her aşamasında yol gösterici katkılarıyla çalışmama yön veren, eleştirileri ve önerileriyle beni daha iyiye teşvik eden danışmanımın emeği benim için çok kıymetlidir. Tez sürecinde arazi çalışmaları, laboratuvar aşamaları ve veri toplama süreçlerinde sabırla yanımda olan bana destek olan Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Serası'nın sorumlusu Hasan Azmi TANRIVER ayrıca İbrahim DUMAN ve Muhammet Ali BAYTAR'a minnettarlığımı belirtmek isterim.

Bu süreçte arkadaşlarımın ve erkek kardeşim Muhammet Selim SOĞUKSULU'nun katkıları ve önerileri de bu çalışmanın gerçekleşmesine büyük destek sağlamıştır. Ayrıca tezimin hazırlanma sürecinde manevi desteklerini her zaman hissettiren aileme, sabırları, anlayışları ve sürekli teşvikleri için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının, ileride yapılacak benzer araştırmalara katkı sağlayacağına ve konuya ilgi duyan araştırmacılara faydalı olacağına inanıyorum.

Betül SOĞUKSULU

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “MUĞLA YÖRESİ KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORİJİNLERİNDEN ÖRNEKLENEN TOHUMLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Ercan OKTAN’ ın sorumluluğunda tamamladığımı, bu tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını bildiririm. Tezde sunduğum bilgilerin, sonuçların ve değerlendirmelerin tamamen kendi çalışmama dayandığını, başkalarının katkısı varsa bunları açıkça belirttiğimi beyan ederim.03/11/2025

Betül SOĞUKSULU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Tohum Doluluk Oranını Etkileyen Faktörler	3
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Çalışma Alanı	5
2.2. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne Bağlı İşletme Müdürlükleri	6
2.2.1. Köyceğiz OİM – Köyceğiz OİŞ (400–800 m)	7
2.2.2. Yılanlı OİM – Muratlar OİŞ (400–800 m).....	8
2.2.3. Yatağan OİM – Bağyaka OİŞ (400–800 m)	9
2.2.4. Dalaman OİM – Çaldere OİŞ (400–800 m).....	9
2.2.5. Milas OİM – Ören OİŞ (400–800 m).....	10
2.2.6. Yaraş OİM – Yaraş OİŞ (400–800 m)	11
2.3. Materyal ve Metod	11
2.3.1. Tohum Ağırlığı	11
2.3.2. Tohum Doluluk Oranlarının Belirlenmesi	12
2.3.3. Kesme (Kesit) Yöntemi	12
2.3.4. Suda Şişirme (İmbibisyon) Yöntemi.....	13
2.4. Uygulama Basamakları	14
2.4.1. Çimlendirme Denemeleri	15
3. BULGULAR.....	16
3.1. Tohumların 1000 Tane Ağırlığına İlişkin Bulgular	16
3.2. Kesme (Kesit) Yöntemi Sonuçları	17
3.3. Suda Şişirme Yöntemi Sonuçları	18

3.4. Tohum Ekim Aşaması	20
3.5. Çimlenme ve Büyüme Süreçleri.....	20
3.5.1. Tohum Çimlenme Aşaması.....	21
3.5.2. Çimlenme Yüzdeleri	21
3.5.3. Büyüme Gözlemleri	22
4. TARTIŞMA	26
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	29
6. KAYNAKÇA.....	31
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MUĞLA YÖRESİ KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) ORİJİNLERİNDEN ÖRNEKLENEN
TOHUMLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA
Betül SOĞUKSULU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ercan OKTAN
2025, 35 Sayfa

Küresel iklim değişikliği, artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri ve kuraklık periyotlarıyla birlikte, orman ekosistemlerinin işleyişini ve ağaç türlerinin doğal gençleşme süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, özellikle Akdeniz ekosisteminin baskın türlerinden olan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), hem ekolojik hem de ekonomik açıdan yüksek öneme sahip olması nedeniyle iklim değişikliğine duyarlı türler arasında öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Köyceğiz, Muratlar, Bağyaka, Çaldere, Ören, Yaraş ile Marmaris ve Milas yörelerinden toplanan kızılçam tohumlarının kalite ve çimlenme performansı incelenmiştir. 1000 tane ağırlığı (48–58 g), kesme yöntemiyle doluluk (%66–%100), suda şişirme ile imbibisyon (%54–%99) ve sera koşullarında çimlenme testleri uygulanmıştır. Bulgular, iri ve dolu tohumların her zaman yüksek çimlenme garantisi vermediğini göstermiş; Marmaris %81 ile en yüksek, Köyceğiz %14 ile en düşük çimlenme oranına sahip olmuştur. Sonuçlar, küresel iklim değişikliğinin tohum biyolojisi üzerinde karmaşık etkiler yarattığını ve tohum büyüklüğü ile doluluğun tek başına çimlenme başarısını garanti etmediğini göstermektedir. Bulgular, kızılçamın doğal gençleşme potansiyelinin iklim değişikliği koşullarında risk altında olduğunu ve sürdürülebilir ormancılık için uygun tohum kaynaklarının seçiminin kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Pinus brutia*, Küresel iklim değişikliği, Tohum biyolojisi, Çimlenme, Muğla

Master Thesis

SUMMARY

A RESEARCH ON DETERMINATION OF SOME PROPERTIES OF SEEDS
SAMPLED FROM THE ORIGINS OF RED PINE (*Pinus brutia* Ten.) IN MUĞLA
REGION
Betül SOĞUKSULU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Graduate Programme
Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Ercan OKTAN
2025, 35 Pages

Global climate change—via rising temperatures, irregular precipitation regimes, and recurrent drought—directly affects forest ecosystem functioning and the natural regeneration of tree species. In this context, Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.), a dominant species of the Mediterranean ecosystem with high ecological and economic value, stands out as particularly sensitive to climate change. This study evaluated the quality and germination performance of *P. brutia* seeds collected from the forest sub-districts of Köyceğiz, Muratlar, Bağyaka, Çaldere, Ören, and Yaraş under the Muğla Forest Regional Directorate, as well as from the Marmaris and Milas regions. The dataset included 1000-seed weight (48–58 g), seed fill assessed by the cut test (66–100%), imbibition in a water-soak test (54–99%), and germination trials under greenhouse conditions. The findings indicate that large, well-filled seeds do not necessarily guarantee high germination: Marmaris exhibited the highest germination (81%), whereas Köyceğiz had the lowest (14%). Overall, the results show that climate change exerts complex effects on seed biology and that seed size and fill alone do not ensure germination success. Elevated heat stress, reduced soil moisture, and potential pathogen pressure emerge as key constraints on germination. These outcomes highlight that the natural regeneration potential of *P. brutia* is at risk under changing climatic conditions and underscore the critical importance of selecting appropriate seed sources for sustainable forestry.

Keywords: *Pinus brutia*, climate change, seed biology, germination, Muğla

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kızılçam yayılış haritası URL-1 (2025, Aralık 2)	6
Şekil 2. Muğla orman bölge müdürlüğü haritası URL-2 (2025, Aralık 2)	6
Şekil 3. 1000 Tane ağırlığı (TTA) hesaplama yöntemi	16
Şekil 4. Dalaman OİM-Çaldere OİŞ, a. Yatağan OİM-Bağyaka OİŞ, b. Milas OİM- Ören OİŞ, c. Yılanlı OİM-Muratlar OİŞ, d. Yaraş OİŞ, e. Köyceğiz OİM- Köyceğiz OİŞ	18
Şekil 5. Suda Şişirme yöntemi	19
Şekil 6. Ekilen tohumlar (17.02.2025),.....	20
Şekil 7. Ekilen tohumların sulanması (17.02.2025).....	20
Şekil 8. Bağyaka OİŞ. a. Muratlar OİŞ, b. Çaldere OİŞ ve Ören OİŞ, c. Yaraş OİŞ ve Köyceğiz OİŞ.....	21
Şekil 9. Fidelerin büyüme aşamaları (02.05.2025), a. fidelerin büyüme aşamaları (02.05.2025), b. fidelerin büyüme aşamaları (02.05.2025)	23
Şekil 10. Fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025), a. fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025), b. fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025), c. fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025)	24
Şekil 11. Fidelerin büyüme aşamaları (21.08.2025), a. fidelerin büyüme aşamaları (21.08.2025).....	25

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı yörelerdeki tohumların 1000 tane ağırlıkları.....	17
Tablo 2. Kesme yöntemi ile belirlenen tohum doluluk yüzdeleri.....	17
Tablo 3. Suda şişirme yöntemi ile belirlenen tohum doluluk yüzdeleri	19
Tablo 4. Kızılçam tohumlarının çimlenme yüzdeleri (%)	22
Tablo 5. Fide Boylarının Farklı Tarihlerdeki Ortalama Değerleri.....	23



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
ha	: Hektar
°C	: Santigrat (Celsius)
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISTA	: Uluslararası Tohum Test Birliği (International Seed Testing Association)
KTU	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	: Orman İşletme Şefliği
TTA	: 1000 Tohum Ağırlığı

1. GENEL BİLGİLER

Akdeniz Havzası, coğrafi konumu, yarı kapalı deniz sistemi ve topoğrafik/mikroiklimsel çeşitliliği nedeniyle bu etkilerin belirginleştiği “sıcak noktalardan” biri olarak kabul edilmektedir; 1,5–2 °C düzeyindeki küresel ısınma senaryolarında dahi kuraklık göstergelerinin yükseldiği, sıcak hava dalgalarının uzadığı ve yangın için elverişli atmosferik koşulların sıklaştığı rapor edilmektedir (IPCC, 2021). Türkiye özelinde uzun dönemli değerlendirmeler, özellikle batı ve güney kuşakta (Ege–Akdeniz) kuraklık riskinin arttığını ve yağışın mevsimselliğinde kaymalar yaşandığını ortaya koymaktadır (Türkeş, 2012). Bu tablo, kıyı ve yakın iç kesimlerdeki ormanların sürdürülebilirliği açısından yeni uyum (adaptasyon) gereksinimlerini gündeme taşımaktadır.

Bu bağlamda, ülkemizin en geniş yayılış alanına sahip iğne yapraklı türlerinden kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), küresel ısınmanın ekolojik süreçlere ve ormancılık uygulamalarına yansımalarını anlamada kilit bir türdür.

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Çamgiller (Pinaceae) familyasından Doğu Akdeniz Havzasına özgü, elverişli yetiştirme ortamlarında 25 metreye kadar uzayabilen bir çam türüdür (Canberra 2020). Türkiye’de 5.85 milyon hektar alanda yayılış yapmakta olup iğne yapraklı ormanlar içerisinde %42’lik payı ile ilk sırada yer almaktadır (OGM,2012). 12-18 cm uzunluğunda, sert ve koyu yeşil iğne yaprakları mevcuttur ve kozalaklar sürgünlerde dikine veya yan durur. Olgun kozalaklar parlak kırmızımtırak-kahverengindedir (3). Bu tür; hızlı büyümesi, odun kalitesi, reçine üretimi ve ekolojik adaptasyon kabiliyeti nedeniyle hem ekonomik hem de ekolojik açıdan büyük önem taşımaktadır. Ancak son yıllarda artan sıcaklık ve kuraklık stresi, kızılçam ormanlarında gerek verim gerekse doğal gençleşme süreçlerinde olumsuz etkiler yaratmaya başlamıştır (Mutlu & Kaya, 2019).

Ekolojik anlamda kızılçam, erozyon kontrolü, karbon yutak alanı oluşturma ve biyolojik çeşitliliğe yaşam alanı sağlama gibi kritik roller üstlenmektedir. Bu nedenle küresel ısınma karşısında kızılçamın geleceği yalnızca Türkiye için değil, Akdeniz ekosistemi için de stratejik öneme sahiptir (Quézel & Médail, 2003).

Türün biyolojik özellikleri, onu yalnızca ekolojik açıdan değil aynı zamanda ekonomik bakımdan da önemli hâle getirir. Kızılçam odunu; lif-yonga üretimi, tomruk, ambalaj malzemesi ve enerji odunu gibi çeşitli sanayi kollarında kullanılmaktadır. Orman

ekosistemleri açısından değerlendirildiğinde ise türün erozyon kontrolündeki etkinliği, hızlı büyüme yeteneği ve yoksul topraklarda dahi meşcere kurabilme kapasitesi, kızılçamın ekosistem restorasyonu açısından önemini artırmaktadır (Ürgenç, 1998; Atalay, 2002). Orijin (provenans) kavramı, orman ağacı türlerinde genetik çeşitliliğin coğrafi olarak nasıl dağıldığını açıklayan temel bir yaklaşımdır ve özellikle geniş yayılışlı türlerde hayati önem taşır. Aynı türün farklı ekolojik koşullarda gelişen populasyonları; fenolojik davranış, büyüme hızı, odun özellikleri, çevresel streslere dayanıklılık ve tohum kalitesi gibi pek çok özellik bakımından farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla doğru orijin seçimi, ağaçlandırma çalışmalarının başarısıyla doğrudan ilişkilidir. Kızılçam gibi genetik varyasyonu oldukça yüksek türlerde orijin araştırmaları hem genetik kaynakların korunması hem de türün geleceğe yönelik ıslah programlarına temel oluşturması açısından kritik önem taşır (Kaya & Işık, 1997; Fady et al., 2003).

Muğla yöresi, Türkiye’de kızılçam populasyonlarının en yoğun ve en çeşitli biçimde bulunduğu bölgelerden biri olup topografik çeşitliliği, rakım değişimleri ve mikroklimatik farklılıklarıyla dikkat çeker. Bölgenin kıyı şeridinden iç kesimlerine doğru uzanan farklı iklim ve toprak koşulları, yörede genetik açıdan birbirinden ayrılmış kızılçam populasyonlarının oluşmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca Muğla, Türkiye’de en sık orman yangını yaşanan bölgelerden biri olduğu için burada yaşayan kızılçam populasyonlarının yangınlara karşı özel adaptasyonlar geliştirdiği düşünülmektedir.

Tohum biyolojisi, ormancılık çalışmalarının başlangıç noktasını oluşturduğundan, türün ekolojik ve genetik potansiyelinin doğru şekilde değerlendirilebilmesi için tohum özelliklerinin ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir. Tohumun morfolojik özellikleri tohum boyutu, ağırlığı, kanat uzunluğu ve doluluk oranı ile fizyolojik özellikleri çimlenme gücü, çimlenme hızı, canlılık ve depolama dayanımı farklı orijinler arasında önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu değişkenlik hem genetik faktörlerden hem de tohumun geliştiği Kızılçam tohumlarının özelliklerindeki bu varyasyon, ağaçlandırma sahalarında başarı oranının doğrudan belirleyicisi olduğundan, farklı orijinlerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ormancılık açısından büyük önem taşır. Uygun orijinden elde edilen tohumlar daha yüksek çimlenme yüzdesi, daha güçlü fidan gelişimi ve çevresel streslere karşı daha iyi adaptasyon gösterebilir. Bu nedenle tohumların özelliklerinin belirlenmesi yalnızca üretim ve fidanlık çalışmaları için değil, aynı zamanda uzun vadeli orman yönetim planları ve genetik ıslah programları için de temel veri kaynağıdır.

Bölgeden örneklenen farklı orijinlerin tohum özelliklerinin karşılaştırılması, hangi popülasyonların daha dayanıklı, daha verimli veya farklı ekolojik koşullara daha uygun olduğunun belirlenmesine olanak tanır. Bu tür çalışmalar, özellikle iklim değişikliğinin giderek arttığı günümüzde, türün değişen çevresel koşullara adaptasyon kapasitesinin anlaşılması açısından da büyük değer taşımaktadır. Ayrıca elde edilen bulgular, kızılcım ıslah programlarında üstün genotiplerin seçilmesine ve gen kaynaklarının korunmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak, Muğla yöresi kızılcım orijinlerinden toplanan tohumların morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar, sadece bölgesel ormancılık uygulamaları için değil, türün genel genetik yapısının anlaşılması, uygun tohum transfer bölgelerinin belirlenmesi ve uzun vadeli sürdürülebilir orman yönetimi açısından önemli bir bilimsel temel oluşturmaktadır.

1.1. Tohum Doluluk Oranını Etkileyen Faktörler

Tohumların doluluk oranı, orman ekosistemlerinde doğal gençleşme ve fidan üretiminde başarıyı doğrudan etkileyen temel parametrelerden biridir. Doluluk oranı, embriyonun tam olarak gelişip gelişmediğini ve tohumun canlılık potansiyelini yansıttığından, orman tohumlarının kalite değerlendirmesinde sıkça başvurulan bir ölçüttür. Bu oranı etkileyen faktörler çok boyutlu olup hem genetik hem de çevresel koşullardan kaynaklanmaktadır.

Öncelikle anaç ağaçların genetik yapısı ve yaşları, tohum kalitesini ve doluluk oranını belirleyen önemli etmenlerdir. Genetik çeşitlilikten yoksun popülasyonlarda, özellikle yakın akraba bireyler arasında gerçekleşen tozlaşmalar embriyo gelişimini olumsuz etkileyerek boş veya yarı dolu tohum oranını artırabilmektedir. Benzer şekilde, yaşlı ağaçlarda polen üretim kapasitesinin azalması veya embriyo gelişiminin yetersiz kalması doluluk oranını düşürebilmektedir.

Çevresel koşullar da tohum doluluk oranı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. İklim değişkenleri içerisinde sıcaklık, yağış ve nispi nem düzeyleri, döllenme ve embriyo gelişim sürecini doğrudan etkilemektedir. Özellikle döllenme döneminde meydana gelen aşırı sıcaklık artışları ya da uzun süreli kuraklıklar polen canlılığını ve dişi çiçeklerin döllenme başarısını azaltarak tohumlarda boşluk oluşmasına yol açabilmektedir. Bununla birlikte,

uygun ekolojik koşullarda gelişen ağaçlardan elde edilen tohumların doluluk oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

Biyotik faktörler de doluluk oranını etkileyen bir diğer boyuttur. Polen taşınımında rol alan böceklerin ve rüzgârın etkinliği, tozlaşma başarısını artırarak dolu tohum oranını yükseltebilmektedir. Ancak böcek zararlıları ve bazı mantar patojenleri, embriyo gelişimini sekteye uğratarak doluluk oranının düşmesine neden olabilmektedir.

Son olarak, ormancılık uygulamaları ve tohum üretim teknikleri de doluluk oranında farklılıklara yol açmaktadır. Sağlıklı ve genç meşcerelerden seçilen tohum kaynakları, uygun aralıklarla gerçekleştirilen kozalak hasadı ve doğru depolama koşulları, tohumların daha yüksek doluluk oranına sahip olmasına katkı sağlamaktadır.

Dolayısıyla, tohum doluluk oranı tek bir faktörün etkisiyle değil, genetik, çevresel ve ekolojik koşulların yanı sıra ormancılık uygulamalarının bütünsel etkisiyle şekillenmektedir. Bu nedenle, tohum kaynaklarının seçiminde hem biyolojik çeşitliliğin korunması hem de uygun ekolojik şartların sağlanması büyük önem taşımaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Ülkemiz orman varlığı içerisinde en önemli türlerden biri olan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), dünyadaki en geniş yayılışını ülkemiz içerisinde göstermektedir (Anşin 1994). Kızılçamın doğal yayılışı İtalya, Yunanistan, Girit, Türkiye, Ege adaları, Kıbrıs, Irak, Orta Kafkasya, Gürcistan ve Kırım yarımadasında görülmektedir (Neyişçi 1987, Kasaplıgil 1952). Türkiye'deki yayılış alanları yoğun olarak Akdeniz bölgesi ve Ege bölgesi, seyrek olarak Marmara bölgesi ve Karadeniz bölgesidir (Sarıbaş ve Ekici 2004). Kızılçam Türkiye’de Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgelerinin kıyı kesimlerine yayılsa da en yoğun doğal yayılış gösterdiği iller; Muğla, Antalya, Mersin, Adana ve Hatay’dır (Şekil 2.).

Bu araştırmanın materyalini, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü’ne bağlı altı farklı orman işletme şefliğinden toplanan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tohumları oluşturmaktadır. Söz konusu işletme şeflikleri; Köyceğiz, Muratlar, Bağyaka, Çaldere, Ören ve Yaraş’tır. Bu şeflikler, yükselti, bakı, toprak yapısı ve iklim koşulları bakımından farklılık göstermektedir.

Muğla ili, Akdeniz ikliminin belirgin özelliklerini taşıyan bir bölgedir. Yazların sıcak ve kurak, kışların ılık ve yağışlı geçtiği bu bölgede yıllık ortalama sıcaklık 17–18 °C civarında olup, yıllık yağış miktarı 1000–1200 mm arasında değişmektedir (MGM, 2020). Bölge, Türkiye’nin en önemli kızılçam yayılış alanlarından birini barındırmaktadır. Muğla ili kısa mesafelerde yükselen topoğrafya, dar kıyı şeridi ve kireçtaşı ağırlıklı litoloji nedeniyle belirgin karstik özellikler göstermektedir. Bu heterojen topoğrafya ve jeoloji, orman vejetasyonunun kısa mesafelerde dahi farklılaşmasına ve mikroklimatik değişkenliğin artmasına yol açmaktadır.

Bölge, Köppen–Geiger sınıflamasına göre ağırlıklı olarak sıcak yazlı Akdeniz (Csa) iklim tipindedir (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007). Türkiye genelinde 2025 yılı Ağustos ayında çeşitli merkezlerde yeni ekstrem sıcaklıklar rapor edilmiş; Muğla’da uzun yıllar en yüksek Ağustos sıcaklığına göre artış gözlenmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], 2025a, 2025b). Bu sıcaklık sapmaları ve yaz yağışlarındaki azalmalar, tohum oluşum

pencereleri (tozlaşma–embriyo gelişimi) sırasında su ve ısı streslerinin şiddetini artırarak dolu/boş tohum oranlarını etkileme potansiyeli taşımaktadır.

Kızılçam, Muğla'daki orman varlığının yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır (OGM, 2021). Bu nedenle Muğla, kızılçamın doğal yayılış özelliklerinin, tohum biyolojisinin ve küresel ısınmaya adaptasyon kapasitesinin incelenmesi için önemli bir örnek alan niteliğindedir. Kızılçamda tohum üretimi ve dispersiyonu yıllar arasında ve meşcere düzeyinde değişkenlik gösterir; Türkiye kökenli 28 orijinde laboratuvar koşullarında ortalama çimlenme oranlarının yüksek seyrettiği (yaklaşık %82; 27–99) bildirilmiştir (Panetsos, 1981; akt. Skordilis & Thanos, 1995).



Şekil 1. Kızılçam yayılış haritası URL-1 (2025, Aralık 2)

2.2. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne Bağlı İşletme Müdürlükleri



Şekil 2. Muğla orman bölge müdürlüğü haritası URL-2 (2025, Aralık 2)

Bu bölümde Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) kapsamında çalışmaya dahil edilen işletme müdürlükleri ve bağlı orman işletme şeflikleri (OİM/OİŞ) alt başlıklar halinde sunulmuştur. Her alt birim, Muğla'nın Ege–Akdeniz geçiş kuşağındaki heterojen topoğrafya ve Akdeniz iklim tipinin etkisi altında olup, kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinin 400–800 m yükselti bandındaki doğal yayılış alanlarını temsil etmektedir. Alt birimlerin betimlenmesinde konum ve erişilebilirlik, iklim ve mikroklima, yetişme ortamı/toprak özellikleri, orman ve alt tabaka yapısı, yangın rejimi ve yönetim geçmişi ile tohum örneklemesinin uygulanışına özel notlar verilmiştir. Metin, kurum izin ve mevzuatına uygun biçimde OGM saha uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tanım ve kavramlarla uyumludur.

2.2.1. Köyceğiz OİM – Köyceğiz OİŞ (400–800 m)

Konum ve erişilebilirlik. Köyceğiz OİM/ Köyceğiz OİŞ, Gökova Körfezi–Köyceğiz Gölü çevresinde, kıyı kuşağından iç kesimlere doğru hızla yükselen yamaçları kapsar. Kıyı etkisi ve iç kesim rüzgâr sirkülasyonları kısa mesafede belirgin mikroklima farkları yaratır. Çalışmada seçilen örnek alanlar, orman yol ağına yakın ve güvenli ulaşım sağlayan sırt ve yamaç kesimlerinde, kenar etkisini minimize edecek şekilde, meşcere içi konumlarda belirlenmiştir.

İklim ve mikroklima. Bölge, sıcak ve kurak yaz–ılık ve yağışlı kış rejimi ile tipik Akdeniz iklim özelliği gösterir. Yaz döneminde denizel etkinin serinletici etkisi kıyıya yakın alanlarda hissedilirken, iç gradyanda gündüz–gece sıcaklık farkları artar. İlkbahar sonu tozlaşma penceresi ve yaz ortası embriyo gelişim dönemi, denizel nemlilik ve orografik yağışların zamanlamasından etkilenebilir.

Yetişme ortamı ve toprak. Kireçtaşı kaynaklı, sığ–orta derinlikte, taşlı iskeletli topraklar (kırmızımsı terra rossa geçişleri) yaygındır. Toprak reaksiyonu çoğunlukla zayıf–orta alkalindir; ince toprak derinliği ve yüzey taşlılığı su tutma kapasitesini sınırlar ve yaz kuraklığına duyarlılığı artırır.

Orman ve alt tabaka yapısı. 400–800 m bandında saf/karışık kızılçam meşcereleri baskındır. Alt tabakada maki ögeleri (*Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Erica manipuliiflora*, *Cistus spp.*) yer alır. Meşcere gelişim safhaları gençlik–sıklık ve direklik karışımı mozaik oluşturur; kapalılık ve bonitet topoğrafyaya bağlı farklılaşır.

Yangın rejimi ve yönetim geçmişi. Bölge, yaz kuraklığı–rüzgâr bileşimi nedeniyle yüksek yangın duyarlılığı taşır. Gençleştirme ve bakım müdahaleleri, yangın sonrası rehabilitasyon uygulamaları ve diri örtü düzenlemesi, tohum yılı dinamikleriyle birlikte değerlendirilir.

Tohum örnekleme–özel notlar. Örnek ağaçlar, hâkim–ortacı bireylerden, patolojik/entomolojik zarar belirtisi düşük fertlerden seçilmiştir. Kıyıya yakın alt zonlarda yaz ısısı ve buharlaşma talebi embriyo gelişimini sınırlandırabileceğinden, doluluk oranı analizinde kıyı–iç gradyanı kovaryatı eklenmiştir.

2.2.2. Yılanlı OİM – Muratlar OİŞ (400–800 m)

Konum ve erişilebilirlik. Yılanlı OİM/ Muratlar OİŞ, Muğla merkez–Yılanlı mevki çevresinde, iç kesim karakterli plato ve yamaçları kapsar. Deniz etkisinin azaldığı bu sahada, karasal iç kesim özellikleri belirginleşir. Orman yolları, sırt hatlarını izleyerek örnek alanlara erişimi kolaylaştırır.

İklim ve mikroklima. Yazları sıcak ve kurak olmakla birlikte, gece–gündüz sıcaklık farkı kıyı birimlerine göre daha yüksektir. İlkbahar geç donlarının seyrek de olsa görülebilmesi, çiçeklenme fenolojisi ile polen–dişi çiçek senkronizasyonuna etkide bulunabilir.

Yetiştirme ortamı ve toprak. Sığ–orta derinlikte, kireçli–kalkerli, taşlı iskeletli topraklar; yer yer rendzina ve terra rossa geçişleri izlenir. Su tutma kapasitesi sınırlı olduğundan, embriyo gelişimi döneminde su stresi riski yüksektir.

Orman ve alt tabaka yapısı. Kızılcım meşcereleri çoğunlukla saf ve tek tabakalıdır; alt tabakada kermes meşesi (*Q. coccifera*), laden (*Cistus creticus/ salviifolius*), katran ardıcı (*J. oxycedrus*) eşlik eder. Gelişim safhaları ve kapalılık, yangın geçmişi ve bakım müdahaleleriyle mozaikleşir.

Yangın rejimi ve yönetim geçmişi. İç kesimlerde rüzgâr–yakıt bileşimi ve kuraklık süreleri, büyük yangın olasılığını artırır. Rehabilitasyon ve gençleştirme uygulamaları ile diri örtü yönetimi, tohum yılı planlamasında dikkate alınır.

Tohum örnekleme–özel notlar. İç kesim mikroklimasının daha düşük gece sıcaklıkları, polen canlılığı ve embriyo gelişimi açısından olumlu etkiler yaratabilir. Doluluk oranı analizlerinde “rakım–gece serinliği” etkileşimini test edecek kovaryatlar modele dahil edilmiştir.

2.2.3. Yatağan OİM – Bağyaka OİŞ (400–800 m)

Konum ve erişilebilirlik. Yatağan OİM/ Bağyaka OİŞ, Yatağan çevresindeki iç vadiler ve yamaçları kapsar. Maden–enerji–sanayi kullanımlarıyla tarım ve orman alanlarının mozaikleştiği bir peyzaj söz konusudur. Erişim, orman yolları ve servis yolları ile mümkündür.

İklim ve mikroklima. İç kesim sıcaklık maruziyeti yüksek; yazın uzun süren kurak dönemler ve düşük bağıl nem koşulları görülebilir. Tozlaşma penceresindeki sıcak gün sayısı ve yaz ortasında görülen ısı dalgaları, embriyo gelişim başarısını sınırlayabilir.

Yetiştirme ortamı ve toprak. Kalkerli–marno–şeylli birimler ve yer yer metamorfikler üzerinde sığ–orta derinlikte topraklar; kireç birikimi ve taşlı iskelet yüksektir. Erozyon riski eğime bağlı artış gösterebilir.

Orman ve alt tabaka yapısı. Saf kızılçam meşcereleri baskındır; alt tabakada *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Paliurus spina-christi*, *Cistus* spp. görülür. Meşcere bakımları ve yakıt azaltma müdahaleleri, diri örtü yoğunluğunu düzenler.

Yangın rejimi ve yönetim geçmişi. İç kesimlerde yakıt sürekliliği ve rüzgâr kanalları, yangın davranışını etkiler. Yangın sonrası gençleştirme sahalarında kozalak üretimi ve tohum kalitesi yıllar arasında değişkenlik gösterebilir.

Tohum örnekleme–özel notlar. Örnek ağaç seçiminde kenar etkisi, toz taşıyıcı rüzgâr koridorları ve meşcere kapalılığı gözetilmiş; kozalak fenolojisi Mayıs–Ağustos penceresinde izlenmiştir.

2.2.4. Dalaman OİM – Çaldere OİŞ (400–800 m)

Konum ve erişilebilirlik. Dalaman OİM/ Çaldere OİŞ, Dalaman Çayı vadisi ve çevre yamaçlarda, kıyı–iç gradyanının belirginleştiği bir zonu temsil eder. Ulaşım, vadi tabanından yamaçlara yükselen orman yolları üzerinden sağlanır.

İklim ve mikroklima. Vadi rüzgârları ve gün–içi sirkülasyonlar yaz sıcaklıklarını şekillendirir; nemli hava dilimlerinin vadi boyunca ilerleyişi ilkbahar–yaz başı tozlaşma koşullarını etkileyebilir. Yaz ortasında ısı dalgaları ve düşük toprak nemi embriyo gelişimi için risk faktörüdür.

Yetiştirme ortamı ve toprak. Alüvyonik yelpazelerle yamaç kolüvyonları arasında geçiş gösteren, sığ–orta derinlikte, taşlı ve drenajı iyi topraklar yaygındır. Karbonatlı ana kaya üzerinde pH genellikle nötr-alkalidir.

Orman ve alt tabaka yapısı. Saf kızılçam meşcereleri baskındır; alt tabaka tür kompozisyonu eğim ve bakıya bağlı olarak değişir. Vadiye bakan yamaçlarda daha canlı bir alt örtü ve toprak nemi izlenebilir.

Yangın rejimi ve yönetim geçmişi. Vadi boyunca rüzgâr etkisi, yangın yayılımını hızlandırabilir. Yakıt azaltma-şeritleri ve bakımlar, savunulabilir alanların sürekliliği açısından kritiktir.

Tohum örnekleme-özel notlar. Vadi tabanına yakın ve üst yamaçlardaki örnek alanlar eşleştirilerek, nem-sıcaklık gradyanının doluluk oranına etkisi sınanacaktır. Kozalak örnekleri, meşcere içi hâkim bireylerden, en az üç farklı alt-yamaç pozisyonundan derlenmiştir.

2.2.5. Milas OİM – Ören OİŞ (400–800 m)

Konum ve erişilebilirlik. Milas OİM/ Ören OİŞ, Güllük Körfezi ve Milas çevresinde kıyı-iç gradyanı, karstik topoğrafyası ve kalkerli kütleleriyle öne çıkar. Turizm-zeytinlik-orman matrisi mekânsal mozaik oluşturur. Erişim, yoğun orman yolu ağı üzerinden mümkündür.

İklim ve mikroklima. Denizel etki kıyıya yakın alanlarda gün-içi sıcaklık aşırılıklarını törpüler; iç yamaçlarda yaz kuraklığı ve buharlaşma talebi artar. İlkbahar sonu rüzgârları polen yayılımını desteklerken, yaz ortası ısı dalgaları embriyo gelişimini sınırlandırabilir.

Yetiştirme ortamı ve toprak. Kireçtaşı üzerinde sıg-orta derinlikte, taşlı-iskeletli, yer yer rendzina karakterinde topraklar; pH nötr-alkalin. İnce toprak derinliği ve kaya çıkışları, yaz boyu su kısıtını artırır.

Orman ve alt tabaka yapısı. Saf/karışık kızılçam meşcereleri; alt tabakada kermes meşesi, akçakesme (*Phillyrea*), menengiç (*Pistacia*), sandal (*Arbutus*) ve ladenler yaygındır. Meşcere kapalılığı ve bonitet, bakı-eğim-toprak derinliğiyle değişir.

Yangın rejimi ve yönetim geçmişi. Kıyı-iç rüzgâr koridorları ve yaz kuraklığı yangın riskini artırır. Rehabilitasyon ve gençleştirme sahalarında kozalak üretimi, yangın sonrası yıllarda farklı seyredebilir.

Tohum örnekleme-özel notlar. Kıyı serinliği ve iç kesim sıcaklığını temsil eden eşleşik örnek alanlar kurulmuştur. Alt tabaka yoğunluğu, tozlaşma dinamiklerini ve tohum zararlısı barınaklarını etkileyebileceğinden, görüş alanında tür kompozisyonu kaydedilmiştir.

2.2.6. Yaraş OİM – Yaraş OİŞ (400–800 m)

Konum ve erişilebilirlik. Yaraş OİM/ Yaraş OİŞ, Muğla'nın güneydoğu-iç kesim geçişinde, kıyıdan uzak yamaç ve plato kenarlarını içerir. Erişim, sırt yolları ve yamaç yan yollarıyla sağlanır; örnek alanlar, insan etkisinin düşük olduğu meşcere içi zonlarda seçilmiştir.

İklim ve mikroklima. İç karakterin belirginleştiği bu sahada, yaz kuraklığı ve ısı dalgaları daha şiddetli seyreder; gece serinliği ise kıyı birimlerine göre daha fazladır. Bu karışık etkiler, tozlaşma başarısı ve embriyo gelişiminde yıllar-arası değişkenlik doğurabilir.

Yetiştirme ortamı ve toprak. Karbonatlı ana kaya üzerinde sıg–orta derinlikte, taşlı-iskeletli topraklar; ince toprak derinliği ve düşük su tutma kapasitesi embriyo gelişimi döneminde stres riskini yükseltir. Eğim–bakı kombinasyonu güneşlenme süresini ve toprak ısısını artırır.

Orman ve alt tabaka yapısı. Saf kızılçam meşcereleri yaygındır; alt tabaka sert maki elemanları ve kızılçam gençlikleri ile yer yer ardıc bireyleri (*J. oxycedrus*) eşlik eder. Kapalılık ve gelişim safhası değişkenliği yüksektir.

Yangın rejimi ve yönetim geçmişi. İç kesim rüzgâr kanalları ve yakıt sürekliliği yangın davranışını etkiler. Gençleştirme, bakım ve yakıt azaltma uygulamaları, meşcere yapısını ve tohum yılı başarısını etkileyen arka plan faktörleridir.

Tohum örneklemesi–özel notlar. Örnek ağaçlar, baskın-hâkim sınıfta, kozalak verimi istikrarlı bireylerden seçilmiş; kozalakların olgunluk döneminde (yaz sonu) toplama–kurutma ve laboratuvara transfer süreleri standartlaştırılmıştır.

2.3. Materyal ve Metod

2.3.1. Tohum Ağırlığı

Tohumların iriliğini ve depo dokusu miktarını belirlemek amacıyla 1000 tane ağırlığı (TTA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, tohum biyolojisinde en temel kalite parametrelerinden biri olup, çimlenme başarısı ile doğrudan ilişkilidir (ISTA, 2019).

- Her işletme şefliğine ait tohumlardan rastgele örnekler alınmış,
- Her örnekte 1000 adet tohum sayılmış,
- Hassas terazide (0,001 g hassasiyetinde) tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir.

Sonuçlar üç tekerrür ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Bu yöntem, farklı popülasyonlardan elde edilen tohumların karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Copeland & McDonald, 2001).

2.3.2. Tohum Doluluk Oranlarının Belirlenmesi

Tohum doluluk oranı, bir tohum örneğinde bulunan dolu (embriyolu, canlı) tohumların sayısının, toplam tohum sayısına oranıdır. Dolu tohumlar, çimlenme potansiyeli olan yani canlı embriyo taşıyan tohumlardır. Bu analiz, tohumun kalitesini ve ekim için uygunluğunu belirlemede kullanılır. Yüksek doluluk oranı, her zaman yüksek çimlenme demek değildir. Tohum canlı olabilir ama yine de çimlenmeyebilir. Bu yüzden çimlenme testleriyle birlikte değerlendirme yapılmalıdır. Tohum doluluk oranlarının tespit edilmesi amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır.

2.3.3. Kesme (Kesit) Yöntemi

Tohumların iç yapısının ve embriyo doluluk oranlarının belirlenmesinde kesme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, tohum canlılığına ilişkin doğrudan gözlem yapılmasını sağlayan hızlı ve güvenilir bir tekniktir (Baskin & Baskin, 2014). Tohumlar kesilerek embriyo ve besi dokusunun durumu görsel olarak değerlendirilir. Embriyosu sağlam ve besi dokusu dolgun olanlar “dolu”, embriyosuz veya belirgin dejenerasyon gösterenler “boş” olarak sınıflandırılır.

Kesme yöntemi, özellikle çimlenme denemeleri öncesinde hızlı bir ön değerlendirme aracı olarak önem taşır. Tohumların ne kadarının dolu olduğunu bilmek, daha sonra yapılacak canlılık ve çimlenme testlerinin yorumlanmasını kolaylaştırır. Ayrıca, tohum işleme ve temizleme tekniklerinin (ör. hava-elek ayırıcı, özgül ağırlık tablası) başarısı da kesme yöntemi ile kontrol edilebilir. Eğer ayıklama sonrası doluluk oranı artmışsa, yapılan işlem başarılı kabul edilir.

Ayrıca, kesme yöntemi ile elde edilen bulgular, çimlenme testleri ve canlılık testleri ile bir arada değerlendirildiğinde daha bütüncül sonuçlar vermektedir. Örneğin, doluluk oranı yüksek fakat çimlenme oranı düşük bir parti, canlılığını yitirmiş ama yapısal bütünlüğünü koruyan tohumlara işaret eder. Buna karşın doluluk oranı düşük olan partiler, yüksek oranda boş veya yarı dolu tohum içerdiğinden, çimlenme denemelerinde başarısız sonuçlar vermektedir. Bu ilişki sayesinde kesme yöntemi, yalnızca doluluk belirleme aracı

olmaktan öte, tohum işleme ve saklama tekniklerinin başarısını izlemek için bilimsel bir kontrol mekanizması işlevi görür (ISTA, 2020).

Son olarak, kesme yönteminin bilimsel katkılarından biri de uzun dönemli tohum araştırmaları açısından sağladığı veri bütünlüğüdür. Farklı yıllarda, farklı koşullarda toplanan partiler kesme yöntemiyle değerlendirildiğinde, iklimsel değişkenlerin veya çevresel baskıların tohum doluluğu üzerindeki etkileri istatistiksel olarak ortaya konabilmektedir. Bu nedenle, yöntem özellikle iklim değişikliğinin tohum fizyolojisi üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalarda temel bir karşılaştırma ölçütü olarak kullanılmaktadır.

- Her işletme şefliğinden rastgele seçilen 100–200 adet tohum bistüri ile enine kesilmiştir.
- Embriyo ve depo dokusu yapısı çıplak gözle ve büyüteç altında incelenmiştir.
- Her sınıfa düşen tohum sayıları kaydedilerek yüzdesel oranları hesaplanmıştır.

Doluluk oranı, tohumların çimlenme kapasitesi ve canlılık durumunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

2.3.4. Suda Şişirme (İmbibisyon) Yöntemi

İmbibisyon testi, tohumların su alma kapasitesini ve hızını belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Su alımı, çimlenmenin ilk aşamasını oluşturan kritik bir biyolojik süreçtir. Bu yöntem, tohum kabuğu geçirgenliği ve embriyo canlılığı hakkında bilgi sunmaktadır (Bewley et al., 2013).

Suda şişirme yöntemi, tohumların iç yapısına zarar vermeden doluluk oranlarını ve canlılıkla ilgili ilk ipuçlarını ortaya koymak için kullanılan hızlı ve basit bir ön testtir. Bu yöntemde temel prensip, boş veya embriyosuz tohumların yüzeyde kalması, dolu ve sağlam embriyoya sahip tohumların ise su çekerek dibe batmasıdır. Tohum kabuğunun geçirgenliği, iç yapının hacmi ve embriyo varlığı, tohumun suda sergilediği bu davranış üzerinde belirleyici olmaktadır (Bonner & Karrfalt, 2008).

2.4. Uygulama Basamakları

Örnekleme: Analize alınacak tohum partisini temsil edecek şekilde rastgele belirlenmiş yeterli sayıda (genellikle 100–200) tohum seçilir.

Hazırlık: Tohumlar önce yüzey sterilizasyonundan geçirilir. Böylece uzun süreli su bekletme sırasında fungal gelişme riski azaltılır.

Bekletme: Tohumlar oda sıcaklığında steril suyun içine bırakılır. Süre genellikle 24 saat olup, bazı türlerde kabuk geçirgenliğine göre 48 saate kadar uzatılabilir.

Gözlem: Bekleme süresince tohumların durumu periyodik olarak izlenir:

Dolu ve canlı tohumlar: Su alarak şişer ve çoğunlukla kabuk yoğunluğu nedeniyle dibe çöker.

Boş veya embriyosuz tohumlar: Su emme kapasitesi düşük olduğu için yüzeyde kalır.

Yarı dolu veya zayıf embriyolu tohumlar: Çoğu zaman ara konumda bulunur, bazen yavaş batır veya su yüzeyinde yarı batık şekilde kalır.

Değerlendirme: Tohumların yüzeyde kalan ve dibe çöken oranları kaydedilir. Bu oranlar dolaylı olarak doluluk hakkında fikir verir.

Suda şişirme yöntemi, özellikle ilk tarama amacıyla kullanıldığında, parti kalitesi hakkında hızlı ve ucuz bir değerlendirme imkânı sunar. Kesme yöntemi veya X-ray gibi daha ayrıntılı tekniklerle karşılaştırıldığında tahribatsız olması büyük bir avantajdır. Ayrıca, çok büyük miktarlardaki tohumların ön elemesinde pratik bir yöntem olarak tercih edilir. Etiketli kaplara belirli sayıda tohum konur; yaklaşık oda sıcaklığındaki su eklenir.

Her işletme şefliğinden seçilen tohumlar saf su dolu kaplara yerleştirilmiştir (Resim 9-10).

Seçilen bir zamanda batanlar “aday dolu”, yüzenler “aday boş” kabul edilerek ayrılır.

Kısa aralıklarla (ör. 5–60. dakikalar arasında) batan ve yüzen tohumlar sayılarak not edilir.

Suda şişirme yöntemi, tek başına güvenilir bir canlılık testi değildir; ancak çimlenme denemeleriyle birlikte yorumlandığında yüksek açıklayıcılığa sahiptir. Dibe çöken tohumların çimlenme yüzdesi, yüzeyde kalanlardan genellikle belirgin şekilde daha yüksektir. Bu nedenle yöntem, çimlenme denemelerine başlamadan önce hızlı bir ön seçim ve kalite kontrol aracı olarak bilimsel önem taşımaktadır.

2.4.1. Çimlendirme Denemeleri

Çimlendirme denemeleri, orman tohumlarının canlılık ve çimlenme kapasitelerini güvenilir biçimde ortaya koyan standart kalite testleridir. Bu çalışmada her işletme şefliği için dört tekerrür halinde 25'er tohum rastgele seçilmiş; tohumlar sera koşullarında, dezenfekte edilmiş ve inert özellikli substratla doldurulmuş strafor kaplarda yetiştirme ortamına alınmıştır. Deneme süresince sıcaklık, nem ve ışık; türün ekolojik gereksinimleri ile ilgili standartlar dikkate alınarak sabit tutulmuş, sulamalar steril suyla ve yüzey doygunluğunu aşmayacak sıklıkta yapılmıştır. Çimlenme, radikula çıkışı ve en az 2 mm uzama ölçütüne göre gün gün izlenmiş; her tekerrürde “normal fide” sayıları kaydedilmiştir. Deneme sonunda çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi ve hız göstergeleri tekerrür ortalamaları üzerinden değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntem ve değerlendirme ölçütleri, uluslararası tohum test standartları ile iğne yapraklı orman ağacı tohumları için önerilen protokollerle uyumludur (Bonner & Karrfalt, 2008; ISTA, 2020; Baskin & Baskin, 2014).

3. BULGULAR

3.1. Tohumların 1000 Tane Ağırlığına İlişkin Bulgular

Çalışmada kullanılan farklı orman işletme şefliklerinden elde edilmiş tohumların 1000 tane ağırlıkları tartılmıştır (Şekil 3). Buna göre en ağır tohumlar (58g) Köyceğiz Orman işletme şefliklerinden toplanan tohumlardan elde edilirken en düşük ağırlıktaki tohumlar (48g.) ise Bağkaya ve Çaldere Orman İşletme Şefliklerinden elde edilmiştir (Tablo 1).



Şekil 3. 1000 Tane ağırlığı (TTA) hesaplama yöntemi

En yüksek TTA değeri Köyceğiz (58 g) şefliğinde ölçülmüş, en düşük değer ise Bağkaya (48 g) ve Çaldere (48 g) şefliklerinde kaydedilmiştir. Genel ortalamanın üzerinde değerler Köyceğiz (58 g) ve Yaraş (52 g) olurken, Muratlar (49 g), Bağkaya (48 g) ve Çaldere (48 g) ortalamasının altında kalmıştır.

Tablo 1. Farklı yörelerdeki tohumların 1000 tane ağırlıkları

	Köyceğiz OİŞ	Muratlar OİŞ	Bağyaka OİŞ	Çaldere OİŞ	Ören OİŞ	Yaraş OİŞ
1000 Tane Ağırlığı	58 g.	49 g.	48 g.	48 g.	50 g.	52 g.

Tanımlayıcı istatistikler:

- Ortalama = 50,83 g
- Standart sapma = 3,77 g
- Değişim katsayısı (CV) = %7,4

Bu farklılık, yetiştirme ortamı koşulları (toprak derinliği, nem kapasitesi, iklim özellikleri) ve çevresel stres faktörlerinden kaynaklanabilir. Daha iri ve ağır tohumlar, genellikle daha fazla depo dokusuna sahip olduklarından, çimlenme ve erken fide gelişimi sırasında avantaj sağlar (Bewley, Bradford, Hilhorst & Nonogaki, 2013).

Öztürk, Şimşek ve Güney (2008), kızılçam popülasyonları arasında 1000 tane ağırlığında önemli farklılıklar olduğunu ve bu farklılıkların genetik çeşitlilik ile ekolojik koşullardan etkilendiğini bildirmiştir. Bu çalışmada da şeflikler arasındaki belirgin farklılıklar, yerel çevresel faktörlerin etkisini destekler niteliktedir.

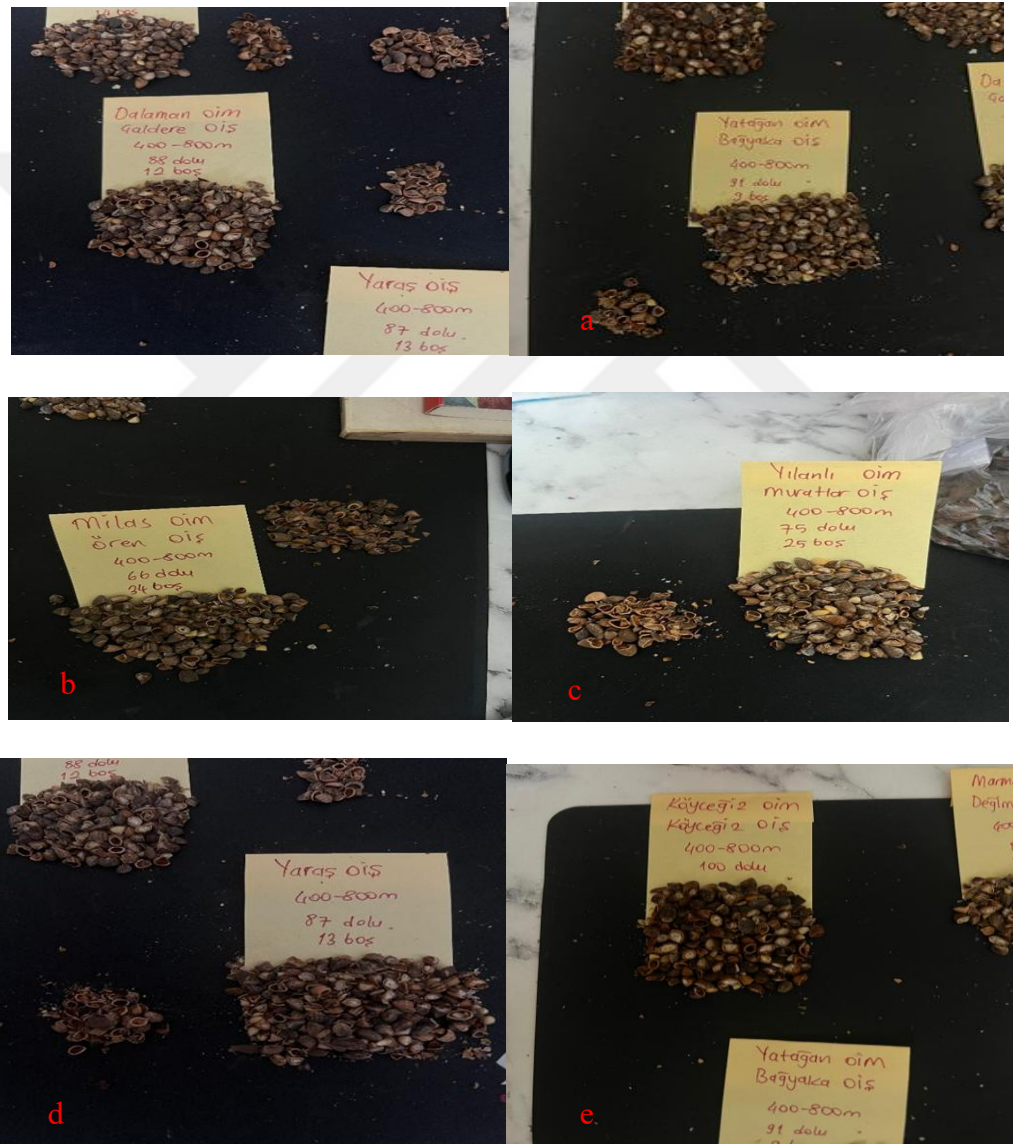
3.2. Kesme (Kesit) Yöntemi Sonuçları

Çalışmada kullanılan farklı orman işletme şefliklerinden elde edilmiş tohumların her bir işletme şefliği için 100'er adet rastgele seçilen tohumların doluluk oranlarını tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

Tablo 2. Kesme yöntemi ile belirlenen tohum doluluk yüzdeleri

	Köyceğiz OİŞ	Değirmenyanı OİŞ	Muratlar OİŞ	Bağyaka OİŞ	Çaldere OİŞ	Ören OİŞ	Yaraş OİŞ
Tohum Doluluk Yüzdesi	%100	%86	%75	%91	%88	%66	%87

Köyceğiz şefliğinde %100 doluluk oranı gözlenmiş, bu da tohumların tamamının canlı embriyoya sahip olduğunu göstermektedir. En düşük doluluk oranı ise Ören şefliğinde %66 olarak belirlenmiştir. Doluluk oranı yüksek olan Bağyaka (%91) ve Yaraş (%87) gibi şefliklerde ise TTA değerlerinin nispeten düşük olması dikkat çekmektedir. Bu durum, embriyo oluşumunun başarılı olduğunu, ancak depo dokusunun daha sınırlı geliştiğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, Kaya ve Temel (2011), iklimsel stresin özellikle embriyo gelişimini olumsuz etkileyerek doluluk oranlarını düşürdüğünü bildirmiştir.



Şekil 4. Dalaman OİM-Çaldere OİŞ, a. Yatağan OİM-Bağyaka OİŞ, b. Milas OİM- Ören OİŞ, c. Yılanlı OİM-Muratlar OİŞ, d. Yaraş OİŞ, e. Köyceğiz OİM- Köyceğiz OİŞ

3.3. Suda Şişirme Yöntemi Sonuçları

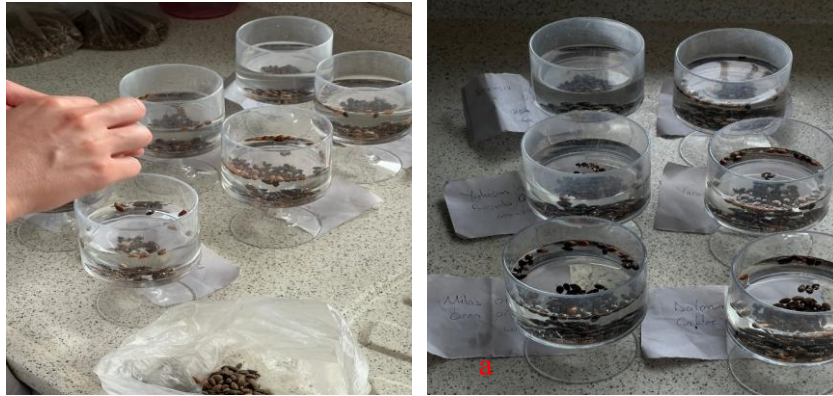
Çalışmada kullanılan farklı orman işletme şefliklerinden elde edilmiş tohumların her bir işletme şefliğinden rastgele seçilen 100'er adet tohumun seçilip, doluluk oranlarını belirlemek amacıyla suda bekletilmesi ile yapılmıştır.

Tablo 3. Suda şişirme yöntemi ile belirlenen tohum doluluk yüzdeleri

	Köyceğiz OİŞ	Değirmenyani OİŞ	Muratlar OİŞ	Bağyaka OİŞ	Çaldere OİŞ	Ören OİŞ	Yaraş OİŞ
Tohum Doluluk Yüzdesi	%100	%83	%78	%94	%86	%54	%76

En yüksek imbibisyon oranı %100 ile Köyceğiz tohumlarında tespit edilmiştir. Ören şefliği ise %54 ile en düşük değere sahip olmuştur. Bu sonuç, tohum kabuğu geçirgenliği ve embriyo sağlığı açısından önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

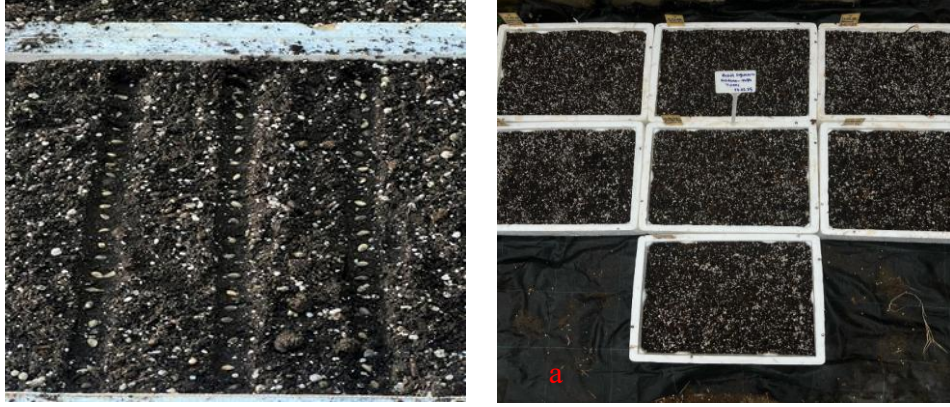
Bewley et al. (2013) imbibisyon hızının, tohumların çimlenme kapasitesiyle yakından ilişkili olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, Köyceğiz ve Bağyaka gibi yüksek imbibisyon oranına sahip şefliklerin çimlenme başarısının da yüksek olması beklenmektedir.



Şekil 5. Suda Şişirme yöntemi

3.4. Tohum Ekim Aşaması

17 Şubat 2025 tarihinde KTÜ Orman Fakültesi Serasında gerçekleştirilen ekim işleminde her bir Orman İşletme Şefliğinden toplanan tohumlardan seçilen rastgele 100 tohum, 5 sıra halinde 20'şer adet 26°C sıcaklığa sahip ortamda ekildi.



Şekil 6. Ekilen tohumlar (17.02.2025),



Şekil 7. Ekilen tohumların sulanması (17.02.2025)

3.5. Çimlenme ve Büyüme Süreçleri

Tohumların canlılık durumlarını ve çevresel değişimlere verdikleri tepkiyi belirlemek amacıyla sera koşullarında çimlenme denemeleri yapılmıştır. Her bir Orman İşletme

Şefliğinden toplanan tohumlardan rastgele seçilen 100'er adet tohum, uygun sterilizasyon ve çimlendirme koşulları sağlanarak ekilmiştir. Çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı ve fidan gelişimi belirli aralıklarla takip edilerek kaydedilmiştir.

3.5.1. Tohum Çimlenme Aşaması

15 Nisan 2025 tarihinde yapılan sera kontrolünde ekilen tohumların çimlenme süreçleri kaydedilmiştir.



Şekil 8. Bağyaka OİŞ. a. Muratlar OİŞ, b. Çaldere OİŞ ve Ören OİŞ, c. Yaraş OİŞ ve Köyceğiz OİŞ

3.5.2. Çimlenme Yüzdeleri

22 Nisan 2025 tarihinde yapılan gözlemler sonucunda elde edilen çimlenme yüzdeleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kızılc am tohumlarının çimlenme yüzdeleri (%)

��letme �efli�i	�imlenme Yüzdesi (%)
Marmaris	81
�aldere	77
Ba�yaka	75
Yara�	59
Muratlar	56
Milas	38
Köyceğiz	14

En yüksek çimlenme yüzdesi Marmaris  efli inde (%81) görülürken, en düşük çimlenme oranı Köyceğiz  efli inde (%14)  l  lm  t r. Bu durum oldukça dikkat çekicidir çünkü Köyceğiz, 1000 tohum ağırlığı ve doluluk oranı açısından en yüksek değerlere sahip olmasına rağmen çimlenme performansında beklenen başarıyı gösterememiştir.

Köyceğiz'deki düşük çimlenme başarısı birkaç faktörle açıklanabilir:

- Genetik faktörler: Ağır ve dolu tohumlara rağmen genetik varyasyon çimlenme kapasitesini sınırlamı  olabilir ( zt rk,  im ek & Güney, 2008).
- Çevresel stres: Yüksek sıcaklık ve kuraklık koşullarında, depo dokusu fazla olan iri tohumlarda metabolik aktivite artarken embriyo zarar görebilir (G lc  & Bilir, 2017).
- Fungal veya patojen etkileri: Sera koşullarında tohum kabuğunun geçirgenliği artmış ve mantar kaynaklı sorunlar çimlenmeyi olumsuz etkilemiş olabilir.

Dolayısıyla, iri ve dolu tohumların her zaman yüksek çimlenme başarısı göstermediği, çevresel stres ve genetik etmenlerin birlikte rol oynadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

3.5.3. Büyüme Gözlemleri

Çimlenme sonrası fidelerin büyüme süreci farklı tarihlerde ölçülmüştür. Fide boyları zamanla düzenli bir artış göstermiştir. Mayıs başında 6–7 cm olan fideler, Temmuz başında

8–9 cm'ye ulaşmış, Ağustos sonunda ise 12–14 cm'ye kadar büyümüştür. Bu sonuç, sera koşullarında yapılan çimlendirme denemelerinin tohumların fide gelişim kapasitesini başarılı bir şekilde ortaya koyduğunu göstermektedir. Ölçümler Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Fide Boylarının Farklı Tarihlerdeki Ortalama Değerleri

Tarih	Ortalama Fide Boyu (cm)
2 Mayıs 2025	6–7 cm
4 Temmuz 2025	8–9 cm
20 Ağustos 2025	12–14 cm

Büyüme hızları, tohumların depo dokusu miktarı ile paralellik göstermektedir. Daha iri tohumlara sahip şefliklerde fide gelişiminin daha hızlı olduğu gözlenmiştir. Ancak Köyceğiz örneğinde olduğu gibi çimlenme başarısının düşük olması, yüksek depo dokusunun tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Bewley et al. (2013), fide büyümesinde hem embriyo canlılığının hem de çevresel koşulların kritik rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu çalışmada da yüksek ağırlığa sahip fakat düşük çimlenme başarısı gösteren Köyceğiz örneği, bu etkileşimin somut bir göstergesidir.

2 Mayıs 2025 tarihinde yapılan incelemede fidelerin büyüme aşamaları kaydedilmiştir. (Şekil 9, 9a, 9b). Büyüyen fideler ortalama 6-7cm ölçülmüştür.



Şekil 9. Fidelerin büyüme aşamaları (02.05.2025), a. fidelerin büyüme aşamaları (02.05.2025), b. fidelerin büyüme aşamaları (02.05.2025)

4 Temmuz 2025 tarihinde ise fideler ortalama 8-9 cm olarak ölçülmüştür (Şekil 10,10a,10b,10c).



Şekil 10. Fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025), a. fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025), b. fidelerin büyüme aşamaları (04. 07.2025), c. fidelerin büyüme aşamaları (04.07.2025)

21.08.2025 tarihinde kaydedilen son ölçümlerde ise 12-14 cm olarak ölçülmüştür (Şekil. 11,11a).



a

Şekil 11. Fidelerin büyüme aşamaları (21.08.2025), a. fidelerin büyüme aşamaları (21.08.2025)

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, Muğla yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tohumlarında 1000 tohum ağırlığı (TTA), doluluk, imbibisyon ve sera koşullarındaki çimlenme performansını bütüncül bir çerçevede değerlendirerek, iklim değişkenliği bağlamında tohum kalitesinin çok boyutlu belirleyicilerini ortaya koymuştur. Bulgular, TTA'nın yaklaşık 48–58 g, doluluğun %66–%100 ve imbibisyonun %54–%99 aralığında değiştiğini; ancak sera koşullarındaki çimlenme yüzdelerinin bu yapısal göstergelerle birebir örtüşmediğini göstermiştir. Özellikle aynı yıl içinde Marmaris örnekleminin çimlenme başarısı yüksek seyrederken, Köyceğiz örnekleminde TTA ve doluluğun yüksek olmasına rağmen çimlenmenin belirgin şekilde düşük kalması, yapısal göstergeler ile işlevsel sonuçların ayrışabildiğini ortaya koymaktadır. Bu örüntü, literatürde sıklıkla vurgulanan önemli bir noktayı doğrular: tohum büyüklüğü ve doluluğu, tek başına canlılık/vigor ve çimlenme başarısını garanti etmez; çevresel stresler, fenolojik uyum ve patojen baskıları sonuçları belirgin şekilde modüle edebilir (Copeland & McDonald, 2001; Bewley, Bradford, Hilhorst, & Nonogaki, 2013).

TTA, depo dokusu miktarını ve tane iriliğini yansıtarak fide gelişimi ve erken dönem yaşama başarısı ile pozitif ilişkiler gösterebilir; ancak tek başına canlılık ve çimlenme gücünün güvenilir bir belirteci değildir (Copeland & McDonald, 2001). Çalışmada TTA'nın popülasyonlar arası farklılıkları; genetik varyasyon, anaç yaşı, tozlaşma başarısı ve oluşum yılına ait ekolojik koşulların bileşkesi olarak yorumlanmıştır (Kaya & Temel, 2011). Benzer şekilde, imbibisyonun (su alma kapasitesi) yüksek çıkması, kabuk geçirgenliği ve depo dokusu yoğunluğu hakkında ipuçları verse de; bazı türlerde yüzen tohumların dahi canlı olabildiği; dolayısıyla imbibisyonun tek başına karar aracı olamayacağı bilinmektedir (Bewley et al., 2013). Bu nedenle çalışmada imbibisyon, pratik bir “ön eleme” ve parti kalitesi hakkında hızlı değerlendirme basamağı olarak kullanılmış; nihai yorum kesme yöntemi ve çimlendirme denemeleri ile desteklenmiştir.

Kesme (kesit) yöntemi, embriyo varlığını ve besi dokusunun bütünlüğünü doğrudan gözlemlene olanağı sunması nedeniyle doluluk oranlarının hızlı ve güvenilir biçimde belirlenmesinde etkili bir araçtır (Baskin & Baskin, 2014; ISTA, 2020). Bununla birlikte, yarı dolu tohumların sınıflandırılmasında gözlemciye bağlı yanlılık riski ve türler arası anatomik farklılıklar nedeniyle yöntemin X-ray veya tetrazolyum gibi tekniklerle kalibre edilmesi önerilmektedir (Bonner & Karrfalt, 2008; ISTA, 2020). Çalışmamızda kesme

verilerinin çimlenme sonuçlarıyla birlikte ele alınması, yanlış sınıflandırma riskini azaltmış; dolu/boş ayırımının sahaya yansıyan biyolojik anlamını güçlendirmiştir.

Çimlendirme denemeleri, tohum canlılığı ve vigorunun pratik karşılığını veren altın standart testlerdir (ISTA, 2020). Denemelerin steril ve inert substratlı strafor kaplarda, türün ekolojik gereksinimleri dikkate alınarak kontrollü sıcaklık–nem–ışık koşullarında yürütülmesi; kontaminasyon riskini minimize ederken ölçümlerin tekrarlanabilirliğini artırmıştır. Radikula çıkışına dayalı çimlenme tanımı ve normal fide ölçütleri, iğne yapraklı orman ağacı tohumları için önerilen protokollerle uyumludur (Baskin & Baskin, 2014; ISTA, 2020). Elde edilen sonuçların tekerrür ortalamaları üzerinden değerlendirilmesi, popülasyonlar arası varyasyonun tespitinde istatistiksel sağlamlık sağlamıştır. Buna paralel olarak, TTA ve doluluk verilerinin çimlenme yüzdesi ve ortalama çimlenme süresi ile birlikte yorumlanması; tohum kalitesinin yapısal (embriyo–besi dokusu bütünlüğü) ve işlevsel (canlılık/vigor) boyutlarını bir araya getirerek daha bütüncül bir değerlendirme sunmuştur.

İklimsel değişkenler ve tozlaşma fenolojisi, doluluk ve çimlenme başarısında üst-belirleyici etkilere sahiptir. Akdeniz iklim kuşağında sıcak dalgaları, geç donlar veya kurak dönemlerin tozlaşma ve embriyo gelişimi pencerelerine denk gelmesi, boş veya yarı dolu tohum oranını artırabilir (Millar, Stephenson, & Stephens, 2007; Kaya & Temel, 2011). Çalışmada aynı yıl içinde Marmaris ile Köyceğiz örneklemeleri arasında gözlenen farklılaşma, lokal mikroiklim, anaç yaşı ve meşcere yoğunluğu gibi faktörlerin bileşik etkilerine işaret etmektedir. Bu bağlamda, tohum toplama yıllarının ve fenolojik pencerenin dikkatle seçilmesi, aynı sahadan çok yıllık örnekleme yapılması ve meteorolojik kayıtlarla eşleştirme önerilmektedir. Tür ve kaynak özelinde standardize edilmiş örnekleme–işleme protokollerinin, yıllar arası kalite dalgalanmalarının doğru yorumlanmasında kritik öneme sahip olduğu literatürde vurgulanmaktadır (ISTA,2020).

Uygulamalı ormancılık açısından en önemli sonuç, tohum işleme ve ayıklama zincirinin çok aşamalı bir protokolle yürütülmesinin gerekliliğidir. İmbibisyonla hızlı ön eleme, kesme ile yapısal doğrulama ve çimlendirme ile işlevsel teyit; özellikle büyük partilerde maliyet-etkin bir kalite güvence zinciri oluşturur. Bu yaklaşım, boş/düşük yoğunluklu tohumların özgül ağırlık tablası veya hava–elek gibi mekanik ayırıcılarla partiden uzaklaştırılmasına ve fidanlık veriminin yükseltilmesine olanak tanır (Bonner & Karrfalt, 2008). TTA’nın lot izleme parametresi olarak düzenli takibi, depolama süresince ağırlık kaybı ve vigor düşüşünün erken işaretlerinin yakalanmasına yardımcı olabilir

(Copeland & McDonald, 2001). Ayrıca, parti bazında çimlenme hızı göstergeleri ile doluluk verilerinin birlikte kullanılması; ekim yoğunluğu, ön-ıslatma/skarifikasyon ve ön-çimlendirme gibi uygulama kararlarının bilimsel temele dayandırılmasına olanak tanır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmada tercih edilen üçlü yöntem seti (TTA–kesme–imbibisyon + çimlendirme) literatürde önerilen iyi uygulamalarla uyumlu, maliyet-etkin ve sahaya aktarımı güçlü bir kalite değerlendirme çerçevesi sunmuştur. Bu çerçeve; tohum kaynağının seçimi, lot temizliği ve fidanlık işletme kararlarında doğrudan uygulanabilir çıktılar üretmiş; aynı zamanda iklim ve popülasyon dinamiklerinin tohum kalitesi üzerindeki etkilerini izlemek için güvenilir bir temel oluşturmuştur. Gelecek çalışmalarda, yıllar arası değişkenliğin ve genetik farklılaşmanın etkilerini daha güçlü çözümlemek amacıyla aynı sahalarda art arda yıllar boyu tekrar ölçümler, genetik belirteçlerle popülasyon düzeyi analizleri ve tetrazolyum/X-ray kalibrasyonları önerilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı altı orman işletme şefliği ile Marmaris ve Milas yörelerinden toplanan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tohumlarının, küresel ısınma koşullarında tohum biyolojisi ve gençleşme potansiyeli üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntemler; 1000 tane ağırlığı, kesme yöntemi, suda şişirme denemeleri ve sera koşullarında yürütülen çimlenme gözlemleridir.

Elde edilen sonuçlar, tohumların morfolojik ve fizyolojik özellikleri bakımından önemli varyasyonlar içerdiğini göstermektedir. 1000 tane ağırlığı bakımından Köyceğiz yöresi öne çıkmış, iri ve depo dokusu açısından zengin tohumlara sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, çimlenme denemelerinde aynı bölgeden elde edilen tohumların beklenmedik biçimde en düşük çimlenme oranını vermesi dikkat çekici bir bulgu olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, iri ve dolu tohumların her zaman yüksek çimlenme kapasitesi sergilemediğini, çevresel stres, genetik faktörler ve olası patojen baskısının çimlenme başarısını sınırlayabileceğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık Marmaris, Çaldere ve Bağyaka yörelerinden elde edilen tohumların daha yüksek çimlenme yüzdesi sergilemesi, bu bölgelerin gençleşme başarısı açısından daha elverişli kaynaklar olduğunu düşündürmektedir.

Kesme yöntemi ile belirlenen doluluk oranları, şeflikler arasında belirgin farklılıklar göstermiştir. Köyceğiz tohumlarının %100 dolu bulunması embriyo gelişiminin başarılı olduğunu ortaya koyarken, Ören yöresinde %66 ile en düşük doluluk oranı kaydedilmiştir. Bu sonuç, çevresel koşulların embriyo oluşumu üzerindeki etkilerini açıkça yansıtmaktadır. Benzer şekilde suda şişirme denemeleri de imbibisyon kapasitelerinin şeflikler arasında değiştiğini göstermiş; özellikle Köyceğiz tohumlarının yüksek imbibisyon oranına sahip olmasına rağmen düşük çimlenme başarısı göstermesi, tohum biyolojisinin çok yönlü etkenler altında şekillendiğini kanıtlamıştır.

Çimlenme denemelerinden elde edilen veriler, sera koşullarında 28–30 °C sıcaklık aralığında yapılan uygulamaların tohumların canlılık performansını ortaya koymada etkili olduğunu göstermiştir. 22 Nisan 2025 tarihinde yapılan gözlemler sonucunda Marmaris yöresi %81 ile en yüksek çimlenme oranına sahip olurken, Köyceğiz %14 ile en düşük değeri vermiştir. Bu farklılık, kızılçam popülasyonları arasında iklimsel stres faktörlerinin ve

genetik varyasyonun çimlenme başarısına doğrudan yansıdığını göstermektedir. Fidelerin boy gelişimi incelendiğinde ise zamanla düzenli bir artış sergilediği, Mayıs başında ortalama 6–7 cm olan fidelerin Temmuz başında 8–9 cm'ye, Ağustos sonunda ise 12–14 cm'ye ulaştığı belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulgular, küresel ısınmanın kızılçam tohum biyolojisi üzerinde bölgesel farklılıklar yarattığını ve doğal gençleşme potansiyelini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, ormancılık uygulamalarında yalnızca iri ve dolu tohumlara yönelmek yerine, çimlenme başarısı ve fide gelişimi gibi parametrelerin de dikkate alınması gerekmektedir. Gençleştirme ve fidan yetiştirme çalışmalarında Marmaris, Çaldere ve Bağyaka gibi çimlenme oranı yüksek yörelerden elde edilen tohumların tercih edilmesi, başarı oranını artıracaktır. Ayrıca, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak amacıyla genetik çeşitliliğin korunması, farklı ekolojik koşullardan tohum toplanması ve sera koşullarında patojen kontrolü ile nem yönetimi gibi destekleyici uygulamaların geliştirilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, kızılçamın doğal yayılış alanlarında küresel ısınmaya bağlı riskler giderek artmakta, bu da türün sürdürülebilir ormancılığı açısından yeni stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu stratejiler arasında uygun tohum kaynaklarının belirlenmesi, fidan yetiştirme tekniklerinin iklim koşullarına uyarlanması ve genetik çeşitliliğin korunmasına yönelik politikaların hayata geçirilmesi öncelikli konular olarak öne çıkmaktadır.

6. KAYNAKÇA

Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>

Anşin, R. (1994). *Tohumlu bitkiler: Gymnospermae (açık tohumlular)*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.

Atalay, İ. (1998). *Türkiye'nin ekolojik bölgeleri*. İzmir: Meta Basım.

Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). San Diego: Academic Press.

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>

Boydak, M. (1985). Kızılçam ormanlarının ekolojik özellikleri ve silvikültürel sorunları. *Orman Fakültesi Dergisi*, 35(2), 56–72.

Boydak, M. (2004). Regeneration of Lebanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) on karstic lands in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 178(1–2), 231–243.

Boydak, M. (2004). Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten.—A review. *Plant Ecology*, 171, 153–163.

Boydak, M., & Çalıkoglu, M. (2008). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.): Ekoloji, silvikültür ve genetik*. Ankara: OGEM-VAK Yayınları.

Boydak, M. (2016). Effects of heat shock on seed germination of Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). *Bosque*, 37(3), 631–637. <https://www.revistabosque.org/index.php/bosque/article/view/483>

Bonner, F. T. (2008). Seed testing. In F. T. Bonner & R. P. Karrfalt (Eds.), *The woody plant seed manual* (pp. 5–18). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Bonner, F. T. (2008). Testing tree seeds for viability. In F. T. Bonner & R. P. Karrfalt (Eds.), *The woody plant seed manual* (pp. 305–326). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Bonner, F. T., & Karrfalt, R. P. (Eds.). (2008). *The woody plant seed manual* (Agriculture Handbook No. 727). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). *Principles of seed science and technology* (4th ed.). New York: Springer.

Çalışkan, S. (2009). Kızılçam ormanlarında reçine üretim teknikleri ve Türkiye'deki uygulamalar. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 56(2), 45–58.

FAO. (2022). *Seed testing manual*. Rome: Food and Agriculture Organization.

Fady, B., Semerci, H., & Vendramin, G. G. (2003). Genetic structure of marginal populations of *Pinus brutia*. *Forest Genetics*, 10(4), 227–236.

Fent, M., & Kment, P. (2011). First record of the invasive western conifer seed bug *Leptoglossus occidentalis* in Turkey. *North-Western Journal of Zoology*, 7(1), Article 111106. <https://biozoojournals.ro/nwjz/content/v7n1/nwjz.111106.Fent.pdf>

Gülcü, S., & Bilir, N. (2017). Effects of drought stress on germination and seedling growth in Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). *Ecological Indicators*, 72, 553–559.

International Seed Testing Association (ISTA). (2019). *International rules for seed testing*. Bassersdorf: ISTA.

International Seed Testing Association (ISTA). (2020). *International rules for seed testing*. Bassersdorf: ISTA.

International Seed Testing Association (ISTA). (2024). *International Seed Testing Association kuralları*. Bassersdorf: ISTA.

IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Kasaplıgil, B. (1952). The forest vegetation in the Mediterranean regions of Turkey. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2(2), 47–65.

Kaya, Z., & Işık, F. (1997). The pattern of genetic variation in *Pinus brutia* Ten. populations sampled in Turkey. *Silvae Genetica*, 46(2–3), 73–81.

Kaya, Z., & Temel, F. (2011). Effects of climate change on forest tree species in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(1), 1–10. <https://doi.org/10.3906/tar-1006-1238>

Kaya, Z., & Temel, F. (2011). Türkiye orman ağaçlarında genetik çeşitlilik ve orman gen kaynaklarının korunması. *Orman ve Av Dergisi*, 87(1), 15–28.

Kaya, Z., & Temel, F. (2011). Effects of climate change on forest genetic resources in Turkey. *Annals of Forest Research*, 54(2), 199–206.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., ... Marchetti, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of

European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>

MGM. (2020). *Muğla ili iklim verileri*. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

MGM. (2023–2025). *Aylık sıcaklık/yağış analizleri ve iklim değerlendirmeleri*. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Mutlu, S., & Kaya, N. (2019). Climate change impacts on Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) forests. *Forest Research*, 12(3), 145–156.

OGM. (2012). *Kızılçam el kitabı* (Muhtelif Yayınlar Serisi No. 52, El Kitapları Dizisi No. 2). Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.

OGM. (2021). *Türkiye orman varlığı raporu*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.

Öztürk, M., Şimşek, O., & Güney, A. (2008). Variation in cone and seed characteristics among Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) populations. *Seed Science and Technology*, 36(2), 423–432.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Quézel, P., & Médail, F. (2003). *Ecology and biogeography of Mediterranean basin forests*. Berlin: Springer.

Ranal, M. A., & Santana, D. G. (2006). How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botânica*, 29(1), 1–11.

Sarıbaş, M., & Ekici, B. (2004). Türkiye’de kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarının ekolojik özellikleri. *Orman Fakültesi Dergisi*, 54(2), 23–34.

Sarıbaş, M., & Ekici, B. (2004). Kızılçamın (*Pinus brutia* Ten.) Batı Karadeniz Bölgesindeki doğal yayılışına katkı. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 6(6), 127–135.

Skordilis, A., & Thanos, C. A. (1995). Seed stratification and germination strategy in the Mediterranean pines *Pinus brutia* and *P. halepensis*. *Seed Science Research*, 5(3), 151–160. <https://doi.org/10.1017/S0960258500002774>

Türkeş, M. (2012). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye. *İklim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 7–23.

Turna, İ., & Güney, K. (2009). Orman ağaçlarında tohum biyolojisi ve ormancılık uygulamaları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(1), 15–28.

Ürgenç, S. (1998). *Orman ağaçları tohumlarının biyolojisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.

Willan, R. L. (1985). *A guide to forest seed handling*. Rome: FAO Forestry Paper.

Yaltırık, F. (1993). *Dendroloji (Gymnospermae)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Yaltırık, F., & Boydak, M. (1993). Türkiye kızılçamlarında genetik çeşitlilik (varyasyon). *Uluslararası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (ss. 1–10). Marmaris.

Yılmaz, E., Ayan, S., & Ünal, S. (2022). İğne yapraklı orman ağaçlarında tohum ve kozalak zararlıları. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 127–141.

Yılmaz, M., & Dirik, H. (2017). Tohum ekolojisi ve çimlenme biyolojisi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 18(2), 102–116.

URL-1. (2025, Aralık 2). Kızılçam hakkında bilgiler. <https://turkiyedekiagaclar.weebly.com/kizilccedilam.html> adresinden alınmıştır.

URL-2. (2025, Aralık 2). Muğla ili sertifikasyon haritası. <https://www.ogm.gov.tr/sertifikasyon/Mugla/Harita.png> adresinden alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

İlk öğretimi Yavuz Selim İlk Öğretim Okulu'nda, orta öğretimi İskenderpaşa Orta Okulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Gülbahar Hatun Anadolu İmam Hatip Lisesi'nde tamamladı.

2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2021 yılında KTÜ Orman Mühendisliği Bölümünden “Orman Mühendisi” unvanı ile onur öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı yıl içinde , KTÜ Orman Fakültesinde Tezli Yüksek Lisans Programına başladı.

2025 yılı itibariyle aynı fakültede Tezli Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.