



Etkin mikroorganizmaların Anadolu karaçamı tohum çimlenme özellikleri üzerine etkileri

Esra Sarıaloğlu ¹, Esra Nurten Yer Çelik ², Orhan Gülseven ³, Şeyma Selin Akın ³, Sezgin Ayan ^{2*}

¹Kastamonu Orman Fidanlık Müdürlüğü, Gököy Orman Fidanlık Şefliği, Kastamonu, Türkiye

²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Silvikültür Anabilim Dalı, Kastamonu, Türkiye

³Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sürdürülebilir Ormancılık Doktora Programı, Kastamonu, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 09/03/2026

Kabul Tarihi: 19/05/2026

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1905899>

*Sorumlu Yazar:

sezginayan@gmail.com

ÖZ

Araştırma Makalesi

Giriş ve Hedefler Bu çalışmada, tarımda yaygın kullanımı olan etkin mikroorganizmaların (EM), Türkiye’de geniş doğal yayılışı ve ağaçlandırmada çok önemli bir tür olan Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana*), tohumlarının çimlenmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Yöntem Araştırma kapsamında dört farklı EM çeşidi (EM-A, EM-5, EM-Gold ve EM-FPE) üç farklı dozda (%5, %15 ve %25) uygulanmış ve sonuçlar kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Tohum

çimlenme özellikleri; çimlenme hızı (ÇH), çimlenme yüzdesi (ÇY) ve ortalama çimlenme süresi (OÇS) karakteristikleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Bulgular Araştırma sonuçlarına göre, EM çeşitleri ve uygulama dozlarının çimlenme parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). EM-FPE çeşidinin %5’lik dozu en iyi uygulama sonucunu veren işlem kombinasyonudur. Bu işlem kombinasyonunda; ÇH: %78,33, ÇY: %95,00 (en yüksek değer) ve OÇS: ~8 gündür. Özellikle EM-FPE çeşidinin %5 doz uygulaması, %95 çimlenme yüzdesi ile hem kontrol grubunu (%87,5) hem de diğer tüm uygulamaları geride bırakarak en yüksek değeri vermiştir. Ayrıca, düşük doz uygulamalarının tohum çimlenme özellikleri üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Yüksek dozlar (%15 ve özellikle %25) çoğu EM çeşidinde çimlenme oranını önemli ölçüde düşürürken, çimlenme süresini ise belirgin biçimde uzatmaktadır.

Sonuçlar Bulgular, EM’lerin çimlenme performansı üzerinde tür, içerik ve doza bağlı farklı etkiler oluşturabileceğini göstermiştir. Düşük dozlarda EM uygulamalarının yararlı mikrobiyal aktiviteyi artırarak çimlenmeyi teşvik edebileceği, yüksek dozların ise mikrobiyal yoğunluk, pH ve organik asit birikimine bağlı olarak çimlenmeyi olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir. Orman ağacı tohumlarında EM uygulamalarının etkilerini daha iyi ortaya koymak için farklı tür ve uygulamalarla ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: *Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana*, etkin mikroorganizma, tohum çimlenmesi, çimlenme parametreleri, tohum teknolojisi

Effects of active microorganisms on seed germination characteristics of Anatolian black pine

ABSTRACT

Background and aims In this study, the effects of effective microorganisms (EM), widely used in agriculture, on the germination of Anatolian black pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana*) seeds, an important species naturally distributed in Türkiye and commonly used in afforestation, were investigated.

Method Four EM types (EM-A, EM-5, EM-Gold, and EM-FPE) were applied at three concentrations (5%, 15%, and 25%) and compared with a control. Germination performance was evaluated using germination rate (GR), germination percentage (GP), and mean germination time (MGT).

Results EM type, application dose, and their interaction had statistically significant effects on germination parameters. Among all treatments, 5% EM-FPE produced the best overall results, with a GR of 78.33%, the highest GP of 95.00%, and an MGT of approximately 8 days, outperforming the control and other applications. Low-dose EM treatments were generally more effective than higher doses, whereas 15% and especially 25% applications reduced germination in most treatments and prolonged germination time.

Conclusion EMs may affect germination performance differently depending on species, microbial content, and application dose. Low-dose EM applications may enhance germination through beneficial microbial activity, while high doses may inhibit germination due to microbial density, pH changes, and organic acid accumulation. Further studies with different species and treatment combinations are needed to better understand the effects of EM applications on forest tree seed germination.

Key Words: *Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana*, effective microorganisms, seed germination, germination parameters, seed technology

Bu makaleye atf:

Sarıaloğlu, E., Yer Çelik, E. N., Gülseven, O., Akın, Ş. S., Ayan, S., 2026. Etkin mikroorganizmaların Anadolu karaçamı tohum çimlenme özellikleri üzerine etkileri. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 12, 1905899.



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

1. Giriş

Bitki gelişimini etkileyen en önemli biyolojik faktörlerden biri toprak mikroorganizmalarıdır. Toprakta bulunan bakteri, mantar ve diğer mikroorganizmalar bitkilerin besin elementlerine erişimini kolaylaştırmakta, kök gelişimini teşvik etmekte ve bitkileri çeşitli patojenlere karşı koruyabilmektedir. Bu mikroorganizmalar bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiler oluşturabilen kompleks bir mikrobiyal topluluk meydana getirmektedir (Teixeira vd., 2017). Ekosistemlerde yararlı ve zararlı mikroorganizmalar arasında dinamik bir denge bulunmakta olup, yararlı mikroorganizmaların baskın olduğu ortamlarda bitki gelişimini destekleyen süreçler daha etkin hale gelmektedir (Ayan vd., 2018; 2021; 2022).

Son yıllarda tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan biyolojik uygulamalardan biri de “etkin mikroorganizmalar” (Effective Microorganisms, EM) teknolojisidir. EM teknolojisi, farklı mikroorganizma türlerinden oluşan mikrobiyal konsorsiyumlara dayanmaktadır ve bu konsorsiyumlar genellikle laktik asit bakterileri, fotosentetik bakteriler, mayalar ve bazı faydalı bakterilerden oluşmaktadır. Bu mikroorganizmalar bitki gelişimini teşvik etmek, toprak biyolojik aktivitesini artırmak ve bitkilerin çevresel stres koşullarına karşı dayanıklılığını güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Higa ve Parr, 1994; Higa, 1998). EM uygulamalarının tarımda toprak verimliliğinin artırılması, bitki gelişiminin desteklenmesi ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi açısından önemli potansiyele sahip olduğu belirtilmektedir (de Araujo Avila vd., 2021).

Literatürde EM uygulamalarının birçok tarımsal bitkide tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğine dair çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. EM uygulamalarının çimlenme oranını artırabildiği, çimlenme süresini kısaltabildiği ve fide gelişimini teşvik edebildiği bildirilmiştir (Higa ve Parr, 1994; Higa, 1998; Karlık, 2010). Bununla birlikte bazı araştırmalar, EM uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin tür, mikroorganizma içeriği ve uygulama koşullarına bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır (Johnson ve Graham, 2013; Cardarelli vd., 2022).

Ormancılık alanında etkin mikroorganizmaların kullanımına yönelik çalışmalar ise tarımsal çalışmalara kıyasla daha sınırlı sayıdadır. Son yıllarda yürütülen bazı araştırmalarda EM uygulamalarının orman ağacı türlerinde fidanların morfolojik ve fizyolojik özellikleri üzerinde etkiler oluşturabileceği ortaya konulmuştur (Ayan vd., 2018; 2021; 2022). Ancak mevcut çalışmaların büyük bir kısmı fide gelişimi ve büyüme parametreleri üzerine yoğunlaşmış olup, orman ağacı türlerinde özellikle tohum çimlenme karakteristikleri üzerindeki etkileri inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu durum, etkin mikroorganizmaların orman ağacı tohumlarının çimlenme performansı üzerindeki potansiyel etkilerinin henüz yeterince ortaya konulmadığını göstermektedir.

Türkiye’de orman alanlarının yaklaşık %46’sının çeşitli düzeylerde bozulmuş olması, bu alanların yeniden üretken hale getirilmesini ormancılık çalışmalarının temel hedeflerinden biri

haline getirmektedir. Bu alanların rehabilitasyonu, uygun fidan üretim teknikleri ve başarılı ağaçlandırma uygulamalarını gerekli kılarken, ağaçlandırma çalışmalarının başarısında tohum kalitesi, çimlenme performansı ve fidan gelişimi gibi biyolojik süreçler kritik rol oynamaktadır (Ayan vd., 2018; 2021; 2022). Türkiye’de ağaçlandırma çalışmalarında en yaygın kullanılan türlerden biri olan Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana*), geniş doğal yayılış alanı ve yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde ormancılık uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle söz konusu türde tohum çimlenme performansını artırabilecek biyolojik uygulamaların araştırılması önem taşımakta; ancak literatürde Anadolu karaçamı tohumlarında etkin mikroorganizma uygulamalarının çimlenme parametreleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan EM’lerin Anadolu karaçamı tohumlarının çimlenme karakteristikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, etkin mikroorganizma uygulamalarının tohum çimlenme performansını artırabileceği hipotezine dayanmaktadır. Bu kapsamda araştırma, farklı EM türleri ve uygulama dozlarının Anadolu karaçamı tohumlarında çimlenme yüzdesi (ÇY), çimlenme hızı (ÇH) ve ortalama çimlenme süresi (OÇS) gibi çimlenme parametreleri üzerinde anlamlı bir etki oluşturup oluşturmadığı sorusuna yanıt aramaktadır. Elde edilen sonuçlar kontrol uygulaması ile karşılaştırılarak EM’lerin orman ağacı tohumlarının çimlenme performansı üzerindeki potansiyel etkilerinin ortaya konulması ve bu alandaki bilgi birikimine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

Çalışmada, Daday Orman Fidanlığı soğuk hava deposunda +4 °C’de sert plastik kaplar içerisinde muhafaza edilen ve ortodoks tohum grubunda yer alan Anadolu karaçamı tohumları, EM tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde materyal olarak kullanılmıştır. Tohum kaynağına ait bilgiler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Tohum kaynağına ait bilgiler

| Tür Adı | Tohum Kaynağı | Orijini | Hasat Yılı | 1000 Tane Ağırlığı (g) | Rutubet (%) |
|------------------|------------------------|----------|------------|------------------------|-------------|
| Anadolu Karaçamı | Tohum Bahçesi (TB-122) | Karadere | 2017 | 23,08 | 7,6 |

Çalışmada ticari sıvı formda tedarik edilen dört farklı mikroorganizma çeşidi (EM-A; EM-5; EM-Gold ve EM-FPE) kullanılmıştır. Kullanılan EM’lara ait özellikler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Etkin mikroorganizmaların özellikleri

| EM Çeşidi | İçerik ve Özellikleri |
|-----------|--|
| EM-A | Bileşiminde laktik asit bakterileri (<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. casei</i> ve <i>L. delbrueckii</i>), mayalar (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>), fototrofik bakteriler (<i>Rhodospseudomonas palustris</i>) ve heterotrofik bakterilerden biri olan <i>Bacillus subtilis</i> 'in yanı sıra, 3,5 pH'ın altındaki koşullarda yaşayabilen çeşitli yararlı mikroorganizmalar da bulunmaktadır (URL-3, 2021) |
| EM-FPE | Bileşiminde <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i> ve <i>L. casei</i> gibi laktik asit bakterilerinin yanı sıra <i>Saccharomyces cerevisiae</i> mayası ile <i>Rhodospseudomonas palustris</i> türü fototrofik bakteriler de bulunmaktadır (URL-2, 2021) |
| EM-5 | Bileşiminde <i>Lactobacillus delbrueckii</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i> ve <i>L. casei</i> türlerinden oluşan laktik asit bakterilerinin yanı sıra <i>Saccharomyces cerevisiae</i> mayaları ve <i>Rhodospseudomonas palustris</i> türü fototrofik bakteriler de bulunmaktadır (URL-1, 2018) |
| EM-Gold | Su, mercan kireci ve nigari karışımında mikroorganizmalar tarafından fermente edilmiş şeker kamışı pekmezi ve maya ekstraktı bazlı özel bir üründür (URL-4, 20121; URL-5, 2021). |

2.2 Yöntem

2.2.1 Etkin mikroorganizmaların uygulama dozları

Çalışma kapsamında uygulanan EM türleri ve farklı dozlarının işlem kombinasyonları Çizelge 3'te sunulmuştur. Kontrol grubu, tohumların yalnızca steril saf su ile çimlendirilmesi yoluyla uygulanmıştır.

Çizelge Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..
Çalışmada kullanılan EM çeşitleri ve uygulama dozları

| Faktör | Çeşit | | | |
|----------|--|-----------------|---------|--------|
| İşlemler | EM-A | EM-5 | EM-GOLD | EM-FPE |
| Doz | | %5 ; % 15 ; %25 | | |
| Kontrol | Saf su kullanılarak yapılan çimlendirme işlemi | | | |

2.2.2 Çimlendirme testleri

Tohum çimlenme özelliklerine dair etkilerin belirlenmesi amacıyla tohumlar petri kapları içinde iklimlendirme kabini içinde çimlendirmeye alınmıştır. Farklı EM dozlarının çimlenme üzerindeki göreceli etkilerini belirlemek ve işlem kombinasyonlarını karşılaştırmak amacıyla yürütülen bu çalışmada seçilen orijine ait tohumun kısıtlı olması nedeniyle ve mevcut tohum materyalinin tüm uygulamalara dengeli şekilde dağıtılması amacıyla çalışmada, her tekrarda 20 adet tohum kullanılarak üç tekrarlı ve toplamda 60 adet tohum kullanılmıştır.

Tohumlar temizlendikten ve sayımı yapıldıktan sonra yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Tohumlar yaklaşık 24 saat saf suda bekletilmiştir. Petri kapları içerisine çift kat filtre kâğıdı yerleştirilmiştir. EM'lar petri kabı içerisine 5 ml kadar bir kez uygulanmış ve akabinde tohumlar iklimlendirme kabini içinde çimlenmeye alınmıştır. İklimlendirme kabini 22±2 °C sıcaklık ve %60±2 bağıl neme ayarlanmış, tohumlar çimlenme süreci boyunca günlük olarak gözlemlenmiştir. Çimlenme parametreleri, tohumların çimlenme süresince, yaklaşık 28-30 gün boyunca takip edilmiştir. Kökçüklerin en az 1 mm uzaması durumunda çimlenme gerçekleşmiş sayılmıştır (Ayan vd., 2021).

Çalışma kapsamında yapılan tüm işlemler ve analizler Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Çimlendirme testleri sonunda elde edilen veriler ÇH, ÇY ve OÇS'nin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Çimlenme Hızı (ÇH)

Bu çalışmada çimlenme hızı değeri ilk 10 günde (28 günlük takipte) çimlenen tohumların yüzdesi olarak hesaplanmıştır (Yahyaoglu, 1993).

Çimlenme Yüzdesi (ÇY)

Çimlenme oranı yüzde (%) olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Boydak ve Çalışkan, 2014).

$$\text{ÇY (\%)} = (\sum n_i) / N * 100 \quad (1)$$

n_i : i. gündeki çimlenen tohum sayısı; N : Teste konulan toplam tohum sayısı

Ortalama Çimlenme Süresi (OÇS)

Günlük olarak çimlenen tohumların sayılması suretiyle ve çimlenme tamamlandığında aşağıdaki formüle göre ortalama çimlenme süresi (OÇS) hesaplanmıştır (Ellis ve Robert, 1980).

$$\text{OÇS} = \sum (n * c) / \sum c \quad (2)$$

n : Çimlenme süresini gösteren gün sayısı veya çimlenen tohumların çimlendiği gün sayısı; c : n. günde çimlenen tohum sayısı

2.2.3 İstatistiksel analiz

Tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulan üç tekrarlı deneme kapsamında elde edilen veriler, "IBM SPSS Statistic 23" programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Yüzde veriler analiz öncesinde arcsin, sayım verileri ise karekök dönüşümüne tabi tutulmuştur. İşlemlerin etkisi varyans analizi ile kontrol ve işlem grupları arasındaki farklılıklar ise Duncan testi ile %5 önem düzeyinde ($p < 0,05$) belirlenmiştir (Ercan, 1997).

3. Bulgular

Anadolu Karaçamı tohumlarında farklı EM türlerinin ve uygulama dozlarının ÇH, ÇY ve OÇS üzerine etkisi Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4 incelendiğinde, Anadolu karaçamı tohumlarında ÇH, ÇY ve OÇS üzerine EM çeşitleri ile uygulama dozlarının bağımsız faktörler olarak her birinin tekil etkisinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Uygulamaların etkisinde; Anadolu karaçamı kontrol grubu tohumlarının

çimlenme hızı (76,66±5,42) ve çimlenme yüzdesinin (87,50±2,81) uygulama yapılan diğer tüm gruplardan daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, kontrol grubu tohumlarında ortalama çimlenme süresi (5,04±0,21) uygulama yapılan diğer tüm gruplardan daha düşük çıkmıştır. Anadolu karaçamı tohumlarında farklı etkin mikroorganizma uygulamaları ve uygulama dozlarının ikili etkileşiminin ÇH, ÇY ve OÇŞ üzerine etkisi Çizelge 5'te verilmiştir.

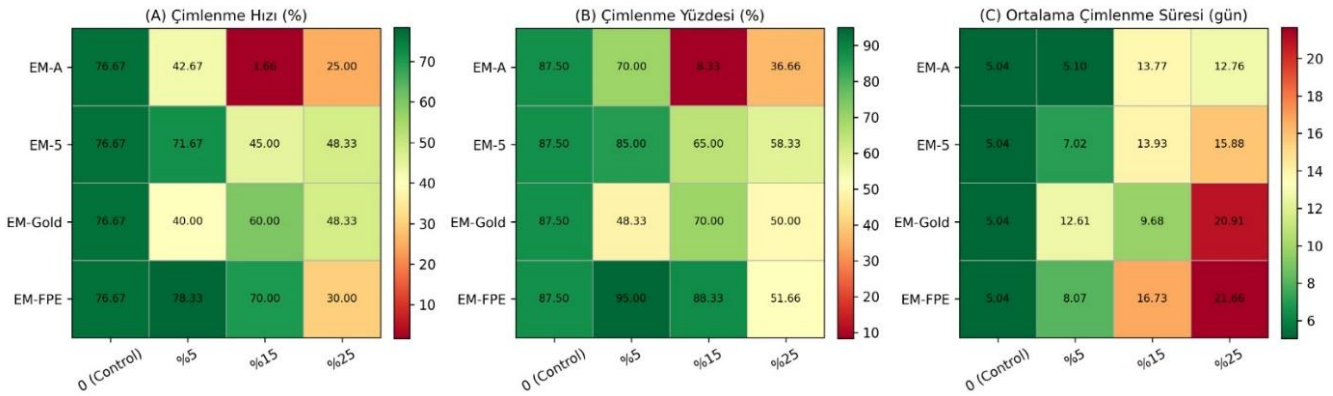
Çizelge incelendiğinde; farklı etkin mikroorganizma uygulamaları ve uygulama doz etkileşimlerinin ÇH, ÇY ve OÇŞ

üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır ($p<0,05$). EM-FPE çeşidinin %5'lik dozu en iyi uygulama sonucunu veren işlem kombinasyonu olarak öne çıkmaktadır. Bu işlem kombinasyonunda; ÇH: %78,33, ÇY: %95,00 (en yüksek değer) ve OÇŞ: ~8 gündür. Özetle, bu işlem kombinasyonu, çimlenme başarısını artıran en etkili uygulama olarak öne çıkmaktadır. Yüksek dozlar (%15 ve özellikle %25) çoğu EM çeşidinde çimlenme oranını ciddi şekilde düşürürken, çimlenme süresini ise belirgin biçimde uzatmaktadır (Şekil 1).

Çizelge 4. Anadolu karaçamı tohumlarında EM çeşit ve dozlarının ÇH, ÇY ve OÇŞ üzerine etkisi

| EM Çeşidi | ÇH (%) | ÇY (%) | OÇŞ (gün) |
|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Kontrol | 76,66±5,42 ^a | 87,50±2,81 ^a | 5,04±0,21 ^b |
| EM-A | 22,77±6,72 ^c | 38,33±9,53 ^c | 10,55±1,64 ^a |
| EM-5 | 55,00±5,83 ^b | 69,44±5,80 ^{ab} | 12,27±1,70 ^a |
| EM-Gold | 49,44±5,03 ^b | 56,11±4,98 ^{bc} | 14,40±1,83 ^a |
| EM-FPE | 59,44±8,22 ^{ab} | 78,33±6,87 ^a | 15,48±2,22 ^a |
| <i>p</i> | 0,000 | 0,000 | 0,006 |
| <i>F</i> | 8,307 | 7,652 | 4,343 |
| EM Dozu | ÇH (%) | ÇY (%) | OÇŞ (gün) |
| Kontrol | 76,66±5,42 ^a | 87,50±2,81 ^a | 5,04±0,21 ^c |
| %5-Düşük | 57,91±6,64 ^{ab} | 74,58±3,57 ^{ab} | 8,20±0,91 ^c |
| %15-Orta | 44,16±8,34 ^b | 57,91±9,34 ^{bc} | 13,53±1,16 ^b |
| %25-Yüksek | 37,91±4,05 ^b | 49,16±6,22 ^c | 17,80±1,47 ^a |
| <i>p</i> | 0,000 | 0,004 | 0,000 |
| <i>F</i> | 5,006 | 5,275 | 19,607 |

*a, b, c gibi farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel farklılık vardır ($p<0,05$). Veriler $\bar{X} \pm Std. hata$ şeklinde sunulmuştur.



Şekil 1. Isı haritası: EM çeşit x doz (0-5-15-25) etkileşiminin çimlenme parametrelerine etkisi

Çizelge 5. Anadolu karaçamı tohumlarında EM çeşit ve dozlarının ikili etkileşiminin ÇH, ÇY ve OÇŞ üzerine etkisi

| EM Çeşidi x EM Dozu | | Çimlenme Karakteristikleri ($\bar{X} \pm Std. hata$) | | |
|---------------------|---------|--|---------------------------|---------------------------|
| EM Çeşidi | EM Dozu | ÇH (%) | ÇY (%) | OÇŞ (gün) |
| EM-A | Kontrol | 76,67±5,42 ^a | 87,50±2,81 ^{ab} | 5,04±0,21 ^f |
| | %5 | 42,67±8,81 ^{cd} | 70,00±7,63 ^{bc} | 5,10±0,28 ^f |
| | %15 | 1,66±1,66 ^e | 8,33±3,33 ^f | 13,77±2,79 ^{cd} |
| | %25 | 25,00±7,63 ^d | 36,66±8,33 ^e | 12,76±1,44 ^{cde} |
| EM-5 | %5 | 71,67±8,81 ^{ab} | 85,00±7,63 ^{ab} | 7,02±0,46 ^f |
| | %15 | 45,00±8,66 ^{cd} | 65,00±8,66 ^{cd} | 13,93±0,96 ^{cd} |
| | %25 | 48,33±6,66 ^{bcd} | 58,33±8,81 ^{cd} | 15,88±3,45 ^{bc} |
| EM-Gold | %5 | 40,00±11,54 ^{cd} | 48,33±10,92 ^{de} | 12,61±0,62 ^{cde} |
| | %15 | 60,00±7,63 ^{abc} | 70,00±5,00 ^{bc} | 9,68±0,64 ^{def} |
| | %25 | 48,33±3,33 ^{bcd} | 50,00±2,88 ^{de} | 20,91±2,34 ^{ab} |
| EM-FPE | %5 | 78,33±9,27 ^a | 95,00±0,00 ^a | 8,06±1,61 ^{ef} |
| | %15 | 70,00±5,77 ^{ab} | 88,33±4,40 ^{ab} | 16,73±2,86 ^{ab} |
| | %25 | 30,00±5,00 ^d | 51,66±1,66 ^{cde} | 21,66±1,20 ^a |
| <i>p</i> | | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| <i>F</i> | | 9,810 | 16,353 | 11,787 |

*a, b, c, gibi farklı harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel farklılık vardır ($p<0,05$)

4. Tartışma ve Sonuç

EM'lerin kullanım alanının oldukça geliştiği son yıllarda birçok bitkinin gelişiminde destekleyici rol üstlendiğine dair çalışmalar yürütülmektedir. Yakın zamanda ortaya koyulmuş bazı çalışmalarda orman ağaçlarında fidan morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin araştırıldığı bilinmektedir (Atik, 2013; Ayan vd., 2021; 2022).

Bu çalışmada, farklı EM Anadolu karaçamı tohumlarının çimlenme karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, EM çeşitleri, uygulama dozları ve bunların etkileşimlerinin ÇH, ÇY ve OÇS üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir ($p<0,05$). Bu durum, mikroorganizma uygulamalarının çimlenme süreçlerini etkileyebileceğini ve bu etkinin uygulama koşullarına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçları, özellikle düşük doz (%5) EM uygulamalarının çimlenme performansı üzerinde daha olumlu etkiler oluşturduğunu göstermiştir. En yüksek ÇY (%95) EM-FPE'nin %5 doz uygulamasında elde edilmiş ve bu değer kontrol grubunun (%87,5) üzerine çıkmıştır. Dolayısıyla çimlenme karakteristikleri açısından mikroorganizma yoğunluğunun optimum seviyelerde tutulmasının önemi öne çıkmaktadır. Ayrıca, EM uygulamalarının, stres koşullarında dayanıklılık, patojen baskılamaya (Parlak ve Güner, 2017), uzun dönem fide performansı ve toprak sağlığı olası etkileri düşünüldüğünde kontrol ile aynı homojen grupta yer alan örneğin EM-5 uygulamasının %5'lik dozunun uzun vadede olası pozitif etkilerini düşündürmektedir.

Bununla birlikte; yüksek dozların fitotoksik etki veya çimlenme üzerinde baskı oluşturduğunu düşündürmektedir. Özetle; Düşük doz (%5) EM uygulamaları genellikle daha başarılı sonuçlar verirken, doz arttıkça performansın düştüğü ve çimlenmenin geciktiği saptanmıştır. EM-FPE çeşidinin %5'lik dozu en iyi işlem kombinasyonu olarak tespit edilmiştir. EM uygulamalarında "daha fazla = daha iyi" yaklaşımı geçerli olmadığı bu çalışmada belirlenmiştir.

EM uygulamalarının düşük dozlarda çimlenmeyi teşvik etmesi, EM tohum çevresindeki mikrobiyal aktiviteyi artırarak besin maddelerinin yarıyışlılığını ve bazı büyümeyi düzenleyici bileşiklerin üretimini desteklemesiyle ilişkili olabilir. Buna karşın yüksek doz uygulamalarda gözlenen çimlenme düşüşünün, çözelti pH'sındaki değişimler, elektriksel iletkenlik (EC) artışı ve buna bağlı ozmotik stres ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca fermentasyon sürecinde oluşan organik asitler, alkoller ve diğer metabolitlerin yüksek konsantrasyonlarda tohum metabolizmasını baskılayabileceği bildirilmektedir. EM formülasyonlarının mikrobiyal içerik bakımından farklılık göstermesi de uygulamaların tohum çimlenmesi üzerindeki etkilerinin değişmesine neden olabilmektedir. Özellikle yüksek mikrobiyal yoğunluk, tohum çevresinde oksijen tüketimini artırarak çimlenme fizyolojisini olumsuz etkileyebilmektedir (Higa ve Parr, 1994).

EM uygulamalarının tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri literatürde hem olumlu hem de sınırlı sonuçlarla rapor edilmiştir. Smith ve Read (2008) mikroorganizmaların bitki gelişimi üzerindeki olumlu etkilerine dikkat çekerken, Johnson ve Graham (2013) bazı durumlarda gelişimin olumsuz etkilebileceğini belirtmiştir. Domenico (2019), *Kalanchoe daigremontiana* üzerinde EM uygulamalarının ÇY'yi artırdığını

ve OÇS'ni azalttığını; ayrıca bitki ağırlığı, yaprak sayısı ve köklenmeyi teşvik ettiğini bildirmiştir. Harper ve Lynch (1980) ise arpa tohumlarında mikroorganizma türüne bağlı olarak çimlenmenin arttığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde Khan vd. (2006), yağmur ağacı (*Albizia saman* (Jacq.) F. Muell.) tohumlarında; Ertekin (2011) ise altın yağmur ağacında (*Koelreuteria paniculata*) EM uygulamalarının çimlenmeyi önemli ölçüde artırdığını belirtmiştir. Siqueira vd. (2013) tarafından yürütülen çalışmada da EM uygulamalarının mısır, domates ve bezelye gibi türlerde çimlenme oranı, fide gelişimi ve kök uzunluğu üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu ifade edilmiştir. Ayrıca Cardarelli vd. (2022), EM uygulamalarının farklı bitki türlerinde ve yetiştirme koşullarında değişken sonuçlar verebileceğini ve bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır.

Buna karşılık bazı araştırmalar ise EM uygulamalarının etkisinin sınırlı veya türlere göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bzdyk vd. (2018), *Fagus sylvatica* ve *Quercus robur* fidanlarında EM uygulamalarının büyüme parametreleri üzerinde belirgin bir olumlu etkisi olmadığını, hatta bazı durumlarda kök yapısı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini bildirmiştir. Parlak ve Güner (2017) tarafından karaçam ekim yastıklarına uygulanan bio-inokülantın 2+0 yaşlı fidanların morfolojik özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Bu durum, mikroorganizma uygulamalarının etkisinin bitki türü, mikroorganizma bileşimi ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

EM'nin çimlenme üzerindeki etkileri çeşitli biyolojik mekanizmalarla açıklanabilmektedir. Mikroorganizmalar tarafından üretilen oksin, giberellin ve sitokinin gibi büyüme düzenleyiciler embriyo gelişimini teşvik ederek çimlenmeyi hızlandırabilmektedir (Higa ve Parr, 1994; Higa, 1998). Ayrıca enzimatik aktiviteler yoluyla tohum kabuğu geçirgenliğinin artması su alımını kolaylaştırmakta; yararlı mikroorganizmaların patojenleri baskılaması ise çimlenme başarısını dolaylı olarak artırmaktadır (Johnson ve Graham, 2013). Bunun yanında bazı mikroorganizmaların besin elementlerini çözünür hale getirmesi ve bitki tarafından alınabilirliğini artırması da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerinde etkili olmaktadır (Teixeira vd., 2017).

Bu çalışmada elde edilen bulgular literatürle uyumlu olarak EM uygulamalarının etkisinin doz ve içerik bağımlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle düşük doz uygulamaların daha başarılı sonuçlar vermesi, mikroorganizma yoğunluğunun optimum seviyede tutulmasının önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, etkin mikroorganizmaların Anadolu karaçamı tohumlarının çimlenme karakteristikleri üzerinde uygun koşullarda olumlu etkiler oluşturabileceği belirlenmiştir. Ancak bu etkinin mikroorganizma türü, uygulama dozu ve çevresel faktörlere bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu nedenle değişik orman ağacı türlerinde, farklı mikroorganizma kombinasyonları ve uygulama yöntemleri ile yapılacak çalışmaların artırılması önem taşımaktadır. Fidanlık uygulamalarında ise ekonomik ve biyolojik etkinlik açısından düşük doz (%5) uygulamaların tercih edilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- Atik, A., 2013. Effect of different concentrations of effective microorganisms (Baikal EM1) on the root collar diameter and height growth in the seedlings of Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* Lamb. (Holmboe)]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 11(2), 1300-1304.
- Ayan, S., Çalışkan, E., Özel, H. B., Yer, E. N., 2018. The influences of the effective microorganisms on morphological and physiological characters of Taurus cedar seedlings (*Cedrus libani* A. Rich.). International Scientific Symposium "Modern Agriculture - Achievements and Prospects", 85th Anniversary - State Agrarian University of Moldova, Proceeding Book, p.359-364, 4-6 October 2018, Chisinau, Moldova. ISBN 978-9975-64-296-5.
- Ayan, S., Çalışkan, E., Özel, H. B., Yer Çelik, E. N., Yılmaz, E., Gülseven, O., Akın, Ş. S., 2022. The influence of effective microorganisms on physiological characteristics of containerized taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) seedlings. CERNE, 28, e103018.
- Ayan, S., Çalışkan, E., Özel, H.B., Yer Çelik, E.N., Gülseven, O., Yılmaz, E., 2021. Influence of effective microorganisms on morphological characteristics of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) containerised seedlings, Journal of Bartın Faculty of Forestry, 23(1), 294-305. <http://dx.doi.org/10.24011/barofd.893148>.
- Boydak, M., Çalışkan, S., 2014. *Ağaçlandırma*. Ormancılığın geliştirme ve orman yangınları ile mücadele hizmetlerini destekleme vakfı (OGEM-VAK) Yayını, İstanbul.
- Bzdyk, R. M., Olchowik, J., Studnicki, M., Oszako, T., Sikora, K., Szmidla, H., Hilszczańska, D., 2018. The impact of effective microorganisms (EM) and organic and mineral fertilizers on the growth and mycorrhizal colonization of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings in a bare-root nursery experiment. Forests, 9(10), 597.
- Cardarelli, M., Woo, S. L., Roupael, Y., Colla, G., 2022. Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. Plants, 11(3), 259.
- De Araujo Avila, G. M., Gabardo, G., Clock, D. C., de Lima Junior, O.S., 2021. Use of efficient microorganisms in agriculture. Research, Society and Development, 10(8), e40610817515-e40610817515.
- Domenico, P., 2019. Effective microorganisms for germination and root growth in *Kalanchoe daigremontiana*. World Journal of Advanced Research and Reviews, 3(3), 047-053.
- Ellis, R., Roberts, E.H., 1980. Towards a rational basis for seed testing seed quality. (P. Hebblethwaite Editör). In: Seed Production. Butterworths, London, 605-635.
- Ercan, M., 1997. Bilimsel Araştırmalarda İstatistik. Çeşitli Yayınlar Serisi No. 6, Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, İzmit.
- Ertekin, M., 2011. Effects of microorganisms, hormone treatment and stratification on seed germination of the goldenrain tree (*Koelreuteria paniculata*). International Journal of Agriculture and Biology, 13, 38-42.
- Harper, S. H. T., Lynch, J. M., 1980. Microbial effects on the germination and seedling growth of barley. New Phytologist, 84(3), 473-481.
- Higa, T., 1998. Effective microorganisms for a more sustainable agriculture, environment and society: Potential and prospects. In Proceedings of the Fourth International Conference on Kyusei Nature Farming, Paris, 12-13.
- Higa, T., Parr, J. F., 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment (Vol. 1). International Nature Farming Research Center. Atami, Japan. 16 pp.
- Johnson, N. C., Graham, J. H., 2013. The continuum concept remains a useful framework for studying mycorrhizal functioning. Plant Soil, 363:411-419. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-012-1406-1>.
- Karlık, E., 2010. Demir biyogiderimi için etkin mikroorganizmaların izolasyonu ve biyogiderim kapasitelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Khan, B.M., Hossain, M.K., Mridha, M. A. U., 2006. Effect of microbial inoculants on *Albizia saman* germination and seedling growth. Journal of Forestry Research, 17, 99-102.
- Parlak, S., Güner, D., 2017. Effect of microbial fertilizer application on some morphological properties of *Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe seedlings. Ormancılık Araştırma Dergisi, 4(2), 100-106. <http://dx.doi.org/10.17568/ogmoad.337884>.
- Siqueira, M. F. B., Sudre, C. P., Almeida, L. H., Pegorer, A. P. R., Akiba, F., 2013. Influence of Effective Microorganisms on Seed Germination and Plantlet Vigor of Selected Crops, Mokichi Okada Foundation, Rio de Janeiro.
- Smith, S. E., Read, D. J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Edition, Academic Press.
- Teixeira, N. T., Witt, L. De, Filho, P. R. R. Da S., 2017. Microrganismos de regeneração nas propriedades químicas do solo, desenvolvimento e produção de milho. Engenharia Ambiental, 14(2), 72-80.
- URL-1, 2018. <http://www.emturkey.com.tr> ; Erişim tarihi: 02/04/2018.
- URL-2, 2021. <https://buildasoil.com/products/em-1-microbial-inoculant?variant=8779501895797> ; Erişim tarihi: 01/02/2021.
- URL-3, 2021. <https://asertarim.com.tr/urunler/tum-urunlerimiz/1> ; Erişim tarihi: 13/05/2026.
- URL-4, 2021. <https://www.pttavm.com/mikrobiyal-gubre-em-5-1-it-p-84195047> ; Erişim tarihi: 01/02/2021.
- URL-5, 2021. <https://www.natuerlich-quintessence.de/em-x-gold-500-ml> ; Erişim tarihi: 13/05/2026.
- Yahyaoglu, Z., 1993. Tohum Teknolojisi ve Fidanlık Tekniği Ders Notu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Ders Teksirleri Serisi. 43, Trabzon.