

Pinus pinea Fidanlarının Büyümesinde Silikon Bazlı Gübrelemenin Etkisi

Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth of Pinus Pinea Seedlings

Safa BALEKOĞLU*¹ 

¹İstanbul Üniversitesi -Cerrahpaşa, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Silvikültür Ana Bilim Dalı, İstanbul

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1708534

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Safa BALEKOĞLU

e-mail: safa.balekoglu@iuc.edu.tr

Geliş tarihi / Received

28.05.2025

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

20.09.2025

Kabul tarihi / Accepted

22.09.2025

Elektronik erişim / Online available

15.10.2025

Anahtar kelimeler:

Fidanlık

Gürbüzlük indisi

Kök boğazı çapı

Fidan boyu

Biyokütle

Keywords:

Nursery

Sturdiness quotient

Root collar diameter

Seedling height

Biomass

Özet

Silikon, yaygın bir element olup fidanların gelişimindeki süreçlerde kritik bir rol oynadığı bildirilmektedir. Bu çalışmada farklı dozlarda silikon bazlı gübrelemenin 2+0 yaşlı fıstıkçamı (*Pinus pinea*) fidanlarının gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Fidanlara farklı silikon bazlı gübre dozları (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g/fidan) uygulanmış olup, denemede toplam 150 adet fidan (10 fidan x 3 tekrerrür x 5 doz) kullanılmıştır. Gübreleme işlemi Mayıs 2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada her ay kök boğazı çapı (mm), fidan boyu (cm) ve gürbüzlük indisi saptanmıştır. Vegetasyon dönemi sonunda farklı dozlarda silikon bazlı gübreleme yapılan fidanlarda iğne yaprak, sürgün, gövde ve kök biyokütelleri belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, kök boğazı çapı ve fidan boyu değerlerinde istatistiksel fark bulunmazken, uygulanan silikon bazlı gübre dozlarının Haziran ve Temmuz ayı ortalama gürbüzlük indisinde istatistiksel anlamda etkili olduğu ($p=0.001$) görülmüştür. Ayrıca silikon ağırlıklı gübrelemenin Mayıs-Haziran dönemi ortalama kök boğazı çapı ($p=0.014$) ve fidan boyu ($p=0.001$) artımında etkili olduğu görülmüştür. Ancak silikon bazlı gübre uygulamasının iğne yaprak, sürgün, gövde ve kök biyokütle üzerinde anlamlı bir etki göstermemiştir ($p>0.05$). Bununla birlikte, en yüksek biyokütle değeri 5g doz uygulanan fidanlarda kaydedilmiştir. Bu bulgular, silikon bazlı gübrelerin *Pinus pinea* fidanlarında gürbüzlük indisi, çap ve boy gelişimini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Abstract

Silicon is a common element and is reported to play a critical role in the development processes of seedlings. In this study, the effects of different doses of silicon-based fertilization on the development of 2+0-year-old *Pinus pinea* seedlings were investigated. Five different doses (0 g, 5 g, 10 g, 15 g, and 30 g/seedling) were applied to the seedlings, with a total of 150 seedlings (10 seedlings x 3 replications x 5 doses) used in the experiment. The fertilization process was carried out in May 2024. In the study, root collar diameter (mm), seedling height (cm) and sturdiness quotient were determined every month. At the end of the vegetation period, needle, shoot, stem and root biomasses were determined in seedlings that were treated with silicon-based fertilizer at different doses. According to ANOVA results, while no statistical difference was found in root collar diameter and seedling height values, it was observed that applied silicon-based doses were statistically effective in the average sturdiness quotient in June and July ($p=0.001$). In addition, silicon-based fertilizer was found to be effective in increasing the average root collar diameter ($p=0.014$) and seedling height ($p=0.001$) in the May-June period. However, silicon-based fertilizer did not show a significant effect on needle, shoot, stem and root biomass ($p>0.05$). The highest biomass value was recorded in seedlings applied with 5 g dose. These findings show that silicon-based fertilizers have the potential to increase sturdiness quotient, diameter and height development in *Pinus pinea* seedlings.

GİRİŞ

Ağaçlandırma başarısı, kullanılacak fidanların kuraklık da dahil olmak üzere çeşitli stres koşullarında hayatta kalma ve büyüme yeteneğine bağlıdır. Orman ağacı fidanlarının strese karşı tepki mekanizmaları ve bunların fidan kalitesi araştırmalarına ilişkin temel bilgilerimizi geliştirmeye yönelik son zamanlardaki çabalara rağmen, ekofizyolojik çalışmalarda fidanların strese karşı tepkilerini incelerken başlangıçtaki fidan özellikleri (çap, boy, gürbüzlük indisi vs.) sıklıkla göz ardı edilmektedir. Gürbüzlük indisi (Gİ),

fidanların hayatta kalma ve performanslarını tahmin etmede önemli ölçüm parametrelerinden biridir (Mañas ve ark. 2009). Gİ, fidanların dengeli bir şekilde büyümesin karşılık gelirken, açık alan koşullarında daha uzun fidanlar, daha büyük kök boğazı çapına sahip fidanlara kıyasla rüzgâr basıncına dayanamayabilir (Chauhan ve Sharma 2017). Tapwal ve ark. (2022)'a göre, mikoriza aşılansın *Pinus gerardiana* fidanlarının Gİ değerlerinin kontrol fidanlarından daha düşük olması, onların dikim sonrası daha iyi bir gelişim sergileyeceklerini öngörmektedir.

İklim değişikliği senaryolarına ilişkin projeksiyonlarında Akdeniz havzasında kuraklık sıklığının ve şiddetinin artacağı göz önüne alındığında (Tramblay ve ark. 2020), bazı türlerin kuraklığa tolerans sınırlarıyla karşılaşması muhtemel görünmektedir. Kuraklık stresi, bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde bir dizi morfolojik ve fizyobiyokimyasal değişikliğe neden olduğu bilinmektedir. Kısıtlayıcı koşullar altında ormanların restorasyon başarısını artırmak saha koşullarına uygun şekilde yetiştirilmiş fidanların kullanımıyla ilişkilidir. *Pinus* spp. üzerinde yapılan çalışmalarda, dikimden sonraki ağaçlandırma performansının dikimde kullanılan fidan özellikleriyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Deligöz ve ark. 2009, Aytaş ve Tilki 2012, Öner ve ark. 2015, Toprak ve ark. 2016, Ivetić ve ark. 2017, Grossnickle ve MacDonald 2018). Kapta fidan yetiştirme, sulama ve gübreleme gibi kültürel uygulamalar üzerinde daha fazla kontrol sağlayarak kaliteli fidan üretimini mümkün kılmaktadır (Ürgeç 1988, Ayan ve ark. 2020). Son yıllarda, kaplı fidanların üretiminde üretim sürecini desteklemek amacıyla kontrollü salınlı gübreler de geliştirilmiştir (Huang ve ark. 2022, Shreckhise ve Altland 2024).

Bitkilerde yaygın olarak bulunan silisyum, fidanların gelişimi üzerindeki morfolojik ve fizyolojik etkileriyle dikkat çekmektedir (Wang ve ark. 2021, Khan ve ark. 2023, Ashfaq ve ark. 2024). Oksijenden sonra, silisyum en çok bulunan elementtir ve dünya kabuğunun yaklaşık %25'i bu elementten oluşur. Toprak ortamlarında, bu mineraller kimyasal ve fiziksel aşınma süreçlerine karşı hassastır (Ma ve Yamaji 2006, 2008). Silisyum, su kaybını, taşınmasını ve su alım süreçlerini düzenleyerek su dengesinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır (Wang ve ark. 2021). Abiotik stres riskinin akut olduğu bölgelerde, özellikle su açığı olmak üzere, üre ve fosfat gübreleri gibi temel gübrelerin silisyumla zenginleştirilmesi önerilmektedir (Irfan ve ark. 2023). Bilimsel araştırmalardan elde edilen kanıtlar, silisyumun bitki hastalıkları ve böcek zararlıları gibi biyotik streslerin yanı sıra ağır metal toksisitesi, UV radyasyonu, soğuk, tuz ve kuraklık gibi abiyotik stresler de dahil olmak üzere bir dizi çevresel strese karşı bitki dayanıklılığını artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Coskun ve ark. 2019, Singh ve ark. 2020, Vaculík ve ark. 2020).

Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.), Akdeniz Havzası'nda, kıyı kumullarında ve hatta yüksek Akdeniz yamaçlarında görülebilen bir türdür. Özellikle nemli ve yarı nemli iklim koşullarına çok iyi uyum sağlayan bir ağaçtır. Yüksek pazar talebi ve karlılığı nedeniyle fıstıkçamı tohumları, niteliğini kaybetmiş topraklarda bile gelişebilen dayanıklı bir ürün olarak öne çıkmaktadır (Boydak ve Çalışkan 2014, 2015, Çalışkan ve Boydak 2017). Fıstıkçamı tohumlarında yüksek seviyelerde azot bulunması, daha fazla su alımını kolaylaştırmakta ve dolayısıyla çimlenme oranını hızlandırmaktadır (Balekolu ve ark. 2021). Türkiye'deki bazı fıstıkçamı popülasyonları kuraklık koşullarında, izohidrik–anizohidrik davranışlar sergileyebilmektedir (Balekolu ve ark. 2020, 2023a). Bununla birlikte, fıstıkçamı popülasyonları kuraklığa ve kuraklık sonrası toparlanmaya karşı yüksek bir adaptasyon yeteneği gösterir (Balekolu ve ark. 2023b).

Silikon uygulamasının tarım bitkileri üzerindeki etkisine ilişkin çok sayıda çalışma olmasına rağmen, orman ağaçlarının fidanları üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar kısıtlıdır. Silikon bazlı gübrelerin fidanlık aşamasındaki fıstıkçamı fidanlarında gürbüzlük indisini artırıp artırmadığı belirsizdir. Bu çalışmada, farklı dozda silikon bazlı gübre uygulanmış (0 g, 5 g, 10 g, 15g ve 30g) 2+0 yaşlı fıstıkçamı fidanların gelişimleri aylık kök boğazı çap (mm), fidan boyu (cm) ve gürbüzlük indisleri dikkate alınarak araştırılmıştır. Diğer yandan farklı dozlarda silikon bazlı gübre verilen fidanların biyokütleleri iğne yaprak, sürgün, gövde ve köklerde ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu çalışmanın hipotezleri, silikon bazlı gübrelemenin fıstıkçamı fidanlarının kök boğazı çapı ve fidan boyu gibi büyüme parametreleri ile gürbüzlük indisi üzerindeki potansiyel etkisini test etmek üzerine kurulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Fidan Materyali

Çalışma İstanbul Orman Fidanlık Müdürlüğü'ne bağlı Göktürk Orman Fidanlığında açık hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Araştırmada toplam 150 adet 2+0 yaşlı fıstıkçamı fidanı kullanılmıştır. Fidanlar, boy (cm) ve kök boğazı çapı (mm) değerleri bakımından istatistiksel

olarak farklılık göstermeyecek şekilde homojen gruplara ayrılmıştır. Fidan kap (2.5 L) harcı olarak %50 orman toprağı, %25 torf ve %25 kum karışımı kullanılmıştır. Kap harcı özellikleri; %64.6 kum, %17.8 toz, %17.6 kil, 7.12 pH, 161.7 EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), %0.51 CaCO_3 ve %6.1 organik madde içermektedir.

Deneme Deseni

Araştırma, deniz seviyesinden 36 m yükseklikte yer alan Göktürk Orman Fidanlığında (41°10'40" K, 28°52'58" D) yürütülmüştür. 2017-2023 yılları iklim verilerine göre, yıllık ortalama yağış 800 mm, ortalama sıcaklık 15.1 °C olup Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının maksimum sıcaklıklarının ortalaması sırasıyla 27.5°C, 29.0°C ve 29.5°C'dir (MGM 2023). Deneme deseni, tesadüf parselleri deneme deseni düzeninde üç tekrarlı şekilde oluşturulmuştur. Araştırma, bir vejetasyon periyodunda silikon bazlı gübrelemenin etkisini belirlemek için fidanlara beş farklı doz (fidan başına 0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g/fidan) uygulanmıştır. Çalışmada 10 fidan x 3 tekrerrür x 5 doz = 150 fidan kullanılmıştır.

Gübreleme Süreci

Silikon bazlı gübre, ilk defa 1 Mayıs 2024 tarihinde 0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g dozlarında 100 ml suda çözündürülerek, ikinci kez ise 1 Ağustos 2024'te toz halinde (tarım uygulamalarında çoğunlukla bu çözündürmeden uygulanmaktadır) fidanların kök boğazı etrafına uygulanmıştır. Gübreleme işlemlerinin ardından, deney süresince her gün fidanlar fidanlıkta yağmurlama sistemiyle tarla kapasitesince sulanmıştır. Kullanılan gübrenin (Almina, jeotermal biyomalzeme, Türkiye) içeriğı; %52.50 SiO_2 , %8.10 CaO , %3.70 SO_3 , %3 MgO , %1.10 Fe_2O_3 , %1.10 aljinik asit şeklindedir.

Morfolojik Ölçümler

Denemedeki tüm fidanların boyları (cm) cetvel, kök boğazı çapları (mm) ise dijital çap ölçer (0.01 mm) yardımıyla bir vejetasyon dönemi boyunca ayda bir kez olmak üzere Nisan, Mayıs (ilk gübrelemenin olduğu ay), Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ölçülmüştür. Ekim ayında fidan kök boğazı çapı ve fidan boyları bir önceki aydaki verilere çok yakın olduğu için büyümenin durduğuna kanaat getirilmiştir. Ekim ayı ölçümleri analizlere dahil edilmemiştir. Kök boğazı çapı ve boydaki

artım, y (artım) = $X_1 - X_0$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır; burada X_0 gübrelemenin başlandığı Mayıs 2024 değerleri, X_1 ise diğer aylardaki değerleri göstermektedir. Gürbüzlük indisi ise, $G_i = \text{Fidan boyu (cm)} / \text{kök boğazı çapı (mm)}$ formülü ile hesaplanmıştır.

Biyokütle

Vejetasyon periyodu sonunda (Kasım ayı ortası), tüm işlem gruplarından (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) altışar fidan hasat edilmiştir. Hasat edilen fidanların iğne yaprak, sürgün, gövde ve kökleri ayrılmış ve kese kağıtlarına etiketlenerek konulmuştur. Daha sonra, tüm örnekler 48 saat boyunca 65 °C'de kurutma fırında kurutulmuş ve ardından kuru kütlelerini (g) belirlemek için hassas terazide (0.01 g) tartılmıştır.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz, SPSS 17.0 (SPSS, 2010) paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı silikon bazlı gübre doz (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) uygulamalarının kök boğazı çapı, fidan boyu, artım ve gürbüzlük indisine etkisi her ölçüm ay için ayrı ayrı tek-yönlü ANOVA ile test edilmiştir. Ayrıca farklı doz uygulamalarının vejetasyon sonunda iğne yaprak, sürgün, gövde, kök, toprak üstü ve toplam biyokütleye etkisi de tek-yönlü ANOVA ile ortaya konmuştur. Gruplar arasında herhangi bir anlamlı fark olup olmadığını tespit etmek için ortalamalar $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde post-hoc testlerinden TUKEY testine tabi tutulmuştur.

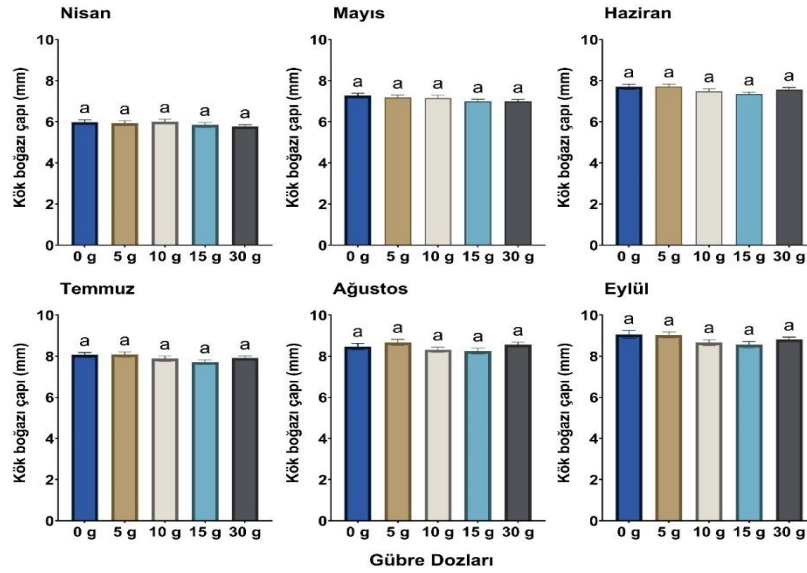
BULGULAR

Silikon bazlı gübrelemesinin ay bazında ortalama çap, boy ve gürbüzlük indisi değerlerine etkisi ANOVA ile test edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, çap ve boy değerlerinde silikon bazlı gübre uygulamasını anlamlı etkisi görülmezken, Haziran ve Temmuz ayı ortalama gürbüzlük indisinde uygulanan silikon bazlı gübre dozlarının istatistiksel anlamda etkili olduğu ($p = 0.001$) görülmüştür (Çizelge 1).

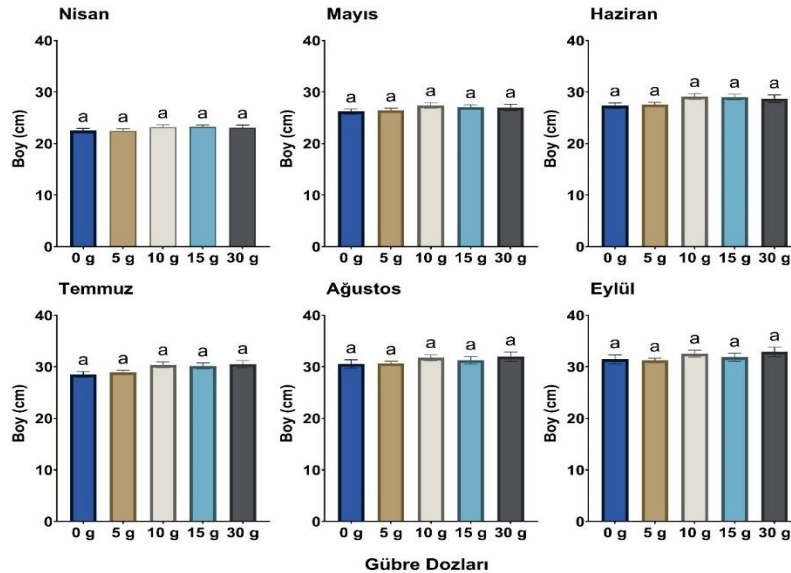
Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait fidanların ortalama kök boğazı çapı, fidan boyu ve gürbüzlük indisleri (G_i) Çizelge 1'de verilmiştir. Nisan ayı ortalama çaplar, 0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g doz işlem gruplarında sırasıyla 5.98 mm, 5.94 mm, 6.01 mm, 5.85

mm ve 5.77 mm iken, Eylül ayında bu değerler sırasıyla 9.06 mm, 9.03 mm, 8.66 mm, 8.56 mm ve 8.82 mm olarak ölçülmüştür. Nisan ayı ortalama boylar, 0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g doz işlem gruplarında sırasıyla 22.5 cm, 22.5 cm, 23.2 cm, 23.2 cm ve 23.0 cm iken, Eylül ayında bu değerler sırasıyla 31.4 cm, 31.2 cm, 32.5 cm, 31.8 cm ve 32.9 cm olarak ölçülmüştür. Nisan ayı ortalama Gİ, 0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g doz işlem gruplarında sırasıyla 3.8, 3.8, 3.9, 4.0, 4.0 iken, Eylül ayında bu değerler sırasıyla 3.5, 3.3, 2.8, 3.7, 3.7 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).

Silikon bazlı gübrelemenin çap, boy ve gürbüzlük indisi değerlerine etkisi aylara göre TUKEY gruplaması Şekil 1, 2



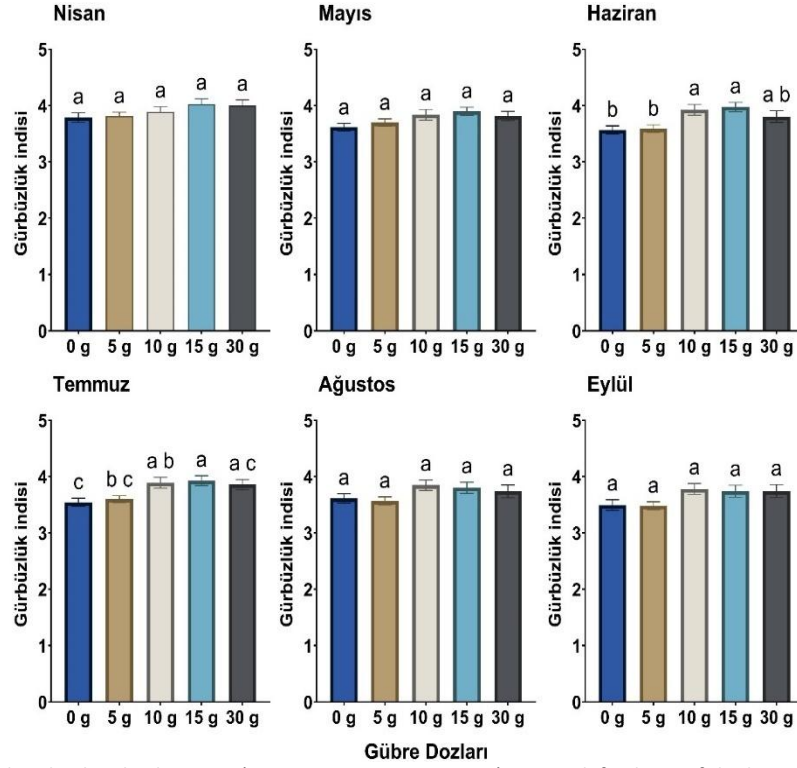
Şekil 1. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübrelemenin (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) 2+0 yaşlı fıstıkçami fidanlarında kök boğazı çaplarına (n=24-30, ± standart hata) etkisinin TUKEY post hoc test sonuçları. Aynı harfler 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak farklı olmayan değerleri ifade etmektedir



Şekil 2. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübrelemenin (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) 2+0 yaşlı fıstıkçami fidanlarında fidan boylarına (n=24-30, ± standart hata) etkisinin TUKEY post hoc test sonuçları. Aynı harfler 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak farklı olmayan değerleri ifade etmektedir

Çizelge 1. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübre uygulamalarının fıstıkçamı fidanlarında ortalama kök boğazı çapı, boyu ve gürbüzlük indisi üzerindeki etkisinin tek-yönlü- ANOVA sonuçları (Nisan-Eylül Dönemi)

Ay	Değişken	Varyasyon kaynağı	
		Doz	Hata
Nisan	Kök boğazı çapı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.296
		F-değeri	0.834
		P	0.506
	Boy	Kareler ortalaması	4.225
		F-değeri	0.758
		P	0.554
	Gürbüzlük indisi	Kareler ortalaması	0.352
		F-değeri	1.517
		P	0.2
Mayıs	Kök boğazı çapı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.469
		F-değeri	1.225
		P	0.302
	Boy	Kareler ortalaması	6.999
		F-değeri	0.905
		P	0.463
	Gürbüzlük indisi	Kareler ortalaması	0.381
		F-değeri	2.105
		P	0.083
Haziran	Kök boğazı çapı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.725
		F-değeri	1.873
		P	0.118
	Boy	Kareler ortalaması	20.77
		F-değeri	2.163
		P	0.076
	Gürbüzlük indisi	Kareler ortalaması	1.048
		F-değeri	4.807
		P	0.001
Temmuz	Kök boğazı çapı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.667
		F-değeri	1.719
		P	0.149
	Boy	Kareler ortalaması	25.03
		F-değeri	2.498
		P	0.055
	Gürbüzlük indisi	Kareler ortalaması	0.954
		F-değeri	4.723
		P	0.001
Ağustos	Kök boğazı çapı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.837
		F-değeri	1.677
		P	0.159
	Boy	Kareler ortalaması	10.31
		F-değeri	0.813
		P	0.519
	Gürbüzlük indisi	Kareler ortalaması	0.404
		F-değeri	1.788
		P	0.135
Eylül	Kök boğazı çapı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	1.304
		F-değeri	2.086
		P	0.086
	Boy	Kareler ortalaması	13.38
		F-değeri	0.963
		P	0.43
	Gürbüzlük indisi	Kareler ortalaması	0.588
		F-değeri	2.471
		P	0.052



Şekil 3. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübrelemenin (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) 2+0 yaşlı fıstıkçami fidanlarında gürbüzlük indisine (n=24-30, ± standart hata) etkisinin TUKEY post hoc test sonuçları. Aynı harfler 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak farklı olmayan değerleri ifade etmektedir

Farklı dozdaki gübrelemenin çap ve boy artımına etkisi ANOVA ile test edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, gübrelemenin Mayıs-Haziran dönemi çap ($p=0.014$) ve boy ($p=0.001$) artımında etkili olduğu görülmüştür. Mayıs-Temmuz dönemindeki gübrelemenin ortalama çap

artımını istatistiksel anlamda değiştirmedikleri ($p=0.101$), boy artımını ise değiştirdiği bulunmuştur ($p=0.003$). Diğer dönemlerde ise gübrelemenin ortalama çap ve boy artımı üzerine istatistiksel etkisi tespit edilmemiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübre uygulamalarının fıstıkçami fidanlarında kök boğazı çapı ve boy artımı değerlerindeki tek-yönlü ANOVA sonuçları (Mayıs-Eylül Dönemi)

Ay	Değişken	Varyasyon kaynağı	
		Doz	Hata
Mayıs-Haziran	Çap artımı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.318
		F-değeri	3.212
		P	0.014
	Boy artımı	Kareler ortalaması	4.245
		F-değeri	4.896
		P	0.001
Mayıs-Temmuz	Çap artımı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.247
		F-değeri	1.976
		P	0.101
	Boy artımı	Kareler ortalaması	7.404
		F-değeri	4.15
		P	0.003
Mayıs-Ağustos	Çap artımı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.592
		F-değeri	2.585
		P	0.051
	Boy artımı	Kareler ortalaması	3.246
		F-değeri	0.852
		P	0.495
Mayıs-Eylül	Çap artımı	Serbestlik derecesi	4
		Kareler ortalaması	0.555
		F-değeri	2.018
		P	0.095
	Boy artımı	Kareler ortalaması	6.348
		F-değeri	1.226
		P	0.303

Gübrelemenin yapıldığı ay (Mayıs) baz alınarak çap ve boy ortalama artımları hesaplanmış ve bu artım değerleri Çizelge 2’te verilmiştir.

Buna göre Mayıs-Haziran dönemindeki en fazla ortalama çap artışı (0.62 mm) 30 g doz grubunda olurken, en fazla ortalama boy artımı ise 1.8 cm ile 15 g doz grubunda tespit edilmiştir. Mayıs-Temmuz dönemindeki en fazla ortalama çap (0.96 mm) ve boy artımı (3.3 cm) 30 g doz grubunda bulunmuştur. Mayıs-Ağustos döneminde de en fazla ortalama çap (1.55 mm) ve boy artımı (4.7 cm) 30 g doz grubunda bulunmuştur (Çizelge 2).

Doz grupları ortalama çap ve boy artımları TUKEY post hoc testi ile gruplandırılmıştır (Şekil 4). TUKEY sonuçlarına göre, Mayıs-Haziran döneminde doz grupları çap artımı açısından üç gruba ayrılmış ve 30 g doz grubu tek başına ayrı grup oluşturmuştur. Ancak bu istatistiksel olarak anlamlı çap artımı farkının diğer aylarda devam etmediği (suda çözündürmeden), tüm dozların aynı grupta toplandığı tespit edilmiştir (Şekil 4).

Gübrelemenin etkisi ile bir ay sonunda (Mayıs-Haziran), 15 g doz grubu ortalama boy açısından tek başına grup oluştururken, iki ay sonra (Mayıs-Temmuz) 30 g doz grubu

ayrı grupta toplanmış ve en yüksek değeri göstermiştir. Benzer eğilim sonraki aylarda da devam etse de istatistiksel olarak gruplar arasında bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 4).

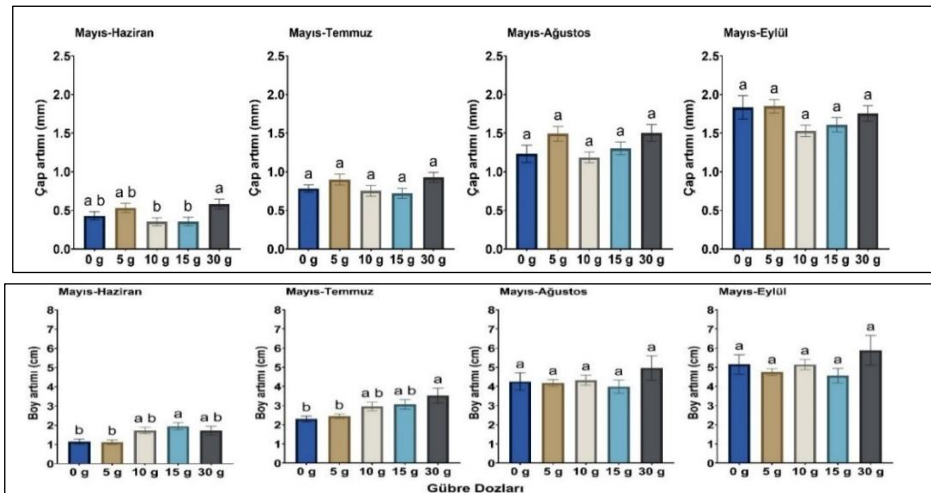
ANOVA sonuçlarına göre, farklı doz gübrelemenin iğne yaprak ($p=0.637$), sürgün ($p=0.787$), gövde ($p=0.626$), kök ($p=0.077$), toprak üstü ($p=0.689$) ve toplam biyokütle ($p=0.132$) değerlerine istatistiksel anlamda bir etki etmediği görülmüştür (Çizelge 3).

Ayrıca yapılan TUKEY post hoc testine göre de farklı doz grupları biyokütleler açısından aynı grupta toplandığı görülmüştür (Şekil 5).

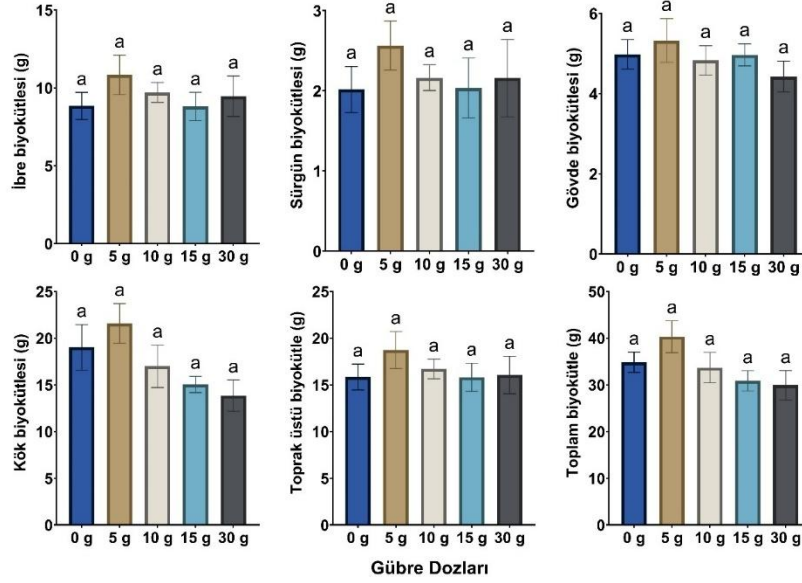
Vejetasyon dönemi sonunda farklı doz gübrelemenin ibre, sürgün, gövde ve kök, biyokütle değerleri Çizelge 3’te verilmiştir. En fazla ortalama ibre biyokütlesi 10.1 g ile 30 g doz grubunda, en fazla ortalama sürgün biyokütlesi 2.6 g ile 5 g doz grubunda, en fazla ortalama gövde biyokütlesi 5.2 g ile 15 g doz grubunda, en fazla kök biyokütlesi 21.3 g ile 5 g doz grubunda, en fazla toprak üstü biyokütle 18.7 g ile 5 g doz grubunda, en fazla toplam biyokütle 37.7 g ile 5 g doz grubunda tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübre uygulamalarının fıstıkçamı fidanlarında iğne yaprak, sürgün, gövde, kök, toprak küstü ve toplam biyokütle değerlerindeki tek-yönlü ANOVA sonuçları. Sd serbestlik değişken, KO kareler ortalaması, F F değeri

Değişken		İbre				Sürgün			Gövde			Kök			Toprak üstü			Toplam		
		sd	KO	F	P	KO	F	P	KO	F	P	KO	F	P	KO	F	P	KO	F	P
Varyasyon	Doz	4	3.43	0.65	0.64	0.25	0.43	0.79	0.53	0.66	0.63	47.7	2.48	0.08	7.55	0.57	0.69	83.8	2.0	0.13
	Hata	20	5.31			0.57			0.79			19.2			13.3			41.7		



Şekil 4. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübrelemenin (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) 2+0 yaşlı fıstıkçamı fidanlarında kök boğazı çap ve fidan boy artımına ($n=24-30$, $\pm$ standart hata) etkisinin TUKEY post hoc test sonuçları. Aynı harfler 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak farklı olmayan değerleri ifade etmektedir



Şekil 5. Farklı dozlardaki silikon bazlı gübrelemenin (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) 2+0 yaşlı fıstıkçamı fidanlarında iğne yaprak, sürgün, gövde, kök, toprak üstü ve toplam biyokütle (n=6, $\pm$ standart hata) etkisinin TUKEY post hoc test sonuçları. Aynı harfler 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak farklı olmayan değerleri ifade etmektedir

TARTIŞMA

Silikon bazlı gübre kullanımı, özellikle fidanların dikim sonrası performansını artırma potansiyeli nedeniyle giderek önem kazanmaktadır (Oszako ve ark. 2023). Ancak, silikonun orman ağacı fidanlarının büyümesini ve genel fidan kalitesini iyileştirdiğine dair yapılan çalışmalar (Emadian ve Newton 1989, Oszako ve ark. 2023) halen oldukça sınırlıdır. Şimdiye kadar, silikon bazlı gübrelemenin fıstıkçamı fidanlarında büyüme performansı üzerine bir çalışma yapılmamıştır.

Mayıs ayında uygulanan silikon bazlı gübrelemenin (suda çözündürülmüş) fıstıkçamı fidanlarında 1 ay sonra Mayıs-Haziran döneminde çap ($p=0.014$) ve boy ($p=0.001$) artımını anlamlı etki ettiği görülmüştür. Devam eden aydaki ölçüm döneminde (Mayıs-Temmuz dönemi) gübre dozlarının çap artımında ($p=0.101$) anlamlı etki yapmazken boy artımında ($p=0.003$) anlamlı etki yapmıştır. Başka bir ifadeyle, silikon bazlı gübrelemenin fıstıkçamı fidanlarında bir vejetasyon boyunca büyüme ve fidan kalitesine etkisinin incelendiği bu çalışmada, suda çözündürülmüş şekilde verilen dönemde (Mayıs-Temmuz arasında) gübrenin Gİ değerine, çap ve boy artımına istatistiksel anlamda etki ettiği tespit edilmiştir. Gübreleme işleminin ikinci aşamasında (Ağustos sonrası dönemde) toz formunda (suda çözündürülmeden) verilen

gübrenin bu istatistiksel etkiyi devam ettirmediği görülmüştür. Bu bulgu, tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bu uygulama yönteminin orman ağacı fidanlarında daha detaylı araştırmalara ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim, Oszako ve ark. (2023), sarıçam fidanları üzerinde yaptıkları çalışmada, suda çözündürülmüş silikon bazlı gübre uygulanmasının olumlu etkilerini rapor etmiştir. Parlak ve Güner (2017) ise, 2+0 yaşlı karaçam fidanlarına uyguladıkları biyogübrenin, fidan boyu ve çapı üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık oluşturmadığını bildirmiştir.

Kök boğazı çapı fidanın hem büyümesinin hem de hayatta kalmasında oldukça istikrarlı ve istatistiksel olarak önemli bir gösterge olarak belirtilmektedir (Mason 2001, Ivetic ve ark. 2016a,b). Fidanların kök boğazı çapı ve fidan boyu başlangıç değerleri, fidanın hayatta kalma başarısı ve büyüme verimliliğinde önemli bir kriter olduğuna birçok çalışmada işaret edilmektedir (Mason 2001, Olivo ve Buduba 2006, Ivetic ve ark. 2016a,b). Bunun aksine Semerci (2005), Toros sediri fidanlarının başlangıç boy ve kök boğazı çaplarının hayatta kalma başarısı ile bir ilişki olmadığını tespit etmiştir. Kaliteli fidan dikimi fidan tutma başarısını garantilemeye de fidanların tutma başarısı ve büyüme şanslarını artıracaktır (Grossnickle ve MacDonald 2018).

Kök boğazı çapı ile fidan boyu arasındaki etkileşim, fidanların kalite göstergelerinin tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır. Örneğin, sarıçam fidanları üzerinde yapılan bir çalışmada, çaptaki 1 mm'lik artış, ortalama olarak boydaki 0.72 cm'lik bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Novikova ve ark. 2023). Çam türleri için, fidan boyu ile kök boğazı çapının oranı gürbüzlük indisi olarak tanımlanmaktadır (Thompson 1985). Gürbüzlük indisi kök boğazı çapı-boy ilişkisi olup, büyüme ve hayatta kalmayı tahmin etmede bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Gürbüzlük indisinin küçük olması, özellikle rüzgârlı veya kurak alanlarda hayatta kalma şansı daha yüksek olan sağlam bir fidanı göstermektedir (Jaenicke 1999). Ayrıca, Jiang ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada gösterildiği gibi, bu göstergeler arasındaki yakın korelasyon, en iyi ağaçların seçilmesine katkıda bulunabilir.

Bu çalışmada, ANOVA sonuçlarına göre, çap ve boy değerlerinde silikon bazlı gübre uygulamasının anlamlı etkisi görülmezken, Haziran ve Temmuz ayı ortalama gürbüzlük indisinde uygulanan silikon bazlı gübre dozlarının istatistiksel anlamda etkili olduğu ($p=0.001$) görülmüştür. Mayıs başında yapılan gübrelemeden bir ve iki ay sonra Haziran ve Temmuz ayında, boy değerlerindeki artıştan dolayı Gİ değerinin en yüksek 10 g ve 15 g doz uygulanan fidanlarda olduğu görülmüştür. Mayıs-Haziran dönemindeki en fazla ortalama çap artışı 30 g doz grubunda olurken, en fazla ortalama boy artımı ise 1.8 cm ile 15 g doz grubunda tespit edilmiştir. Mayıs-Temmuz döneminde ise en fazla boy artımı 3.3 cm ile 30 g doz uygulanan fidanlarda bulunmuştur. Boy artımına bağlı olarak Gİ indis değerinin artması dezavantaj gibi görünse de, Yahyaoğlu ve Genç (2007)'e göre $Gİ < 5$ 'ten küçük olması iyi fidan değerleri aralığında kalmıştır. Shi ve ark. (2019) yaptığı çalışmada, *Pinus tabulaeformis* fidanlarında sürgün büyümesi ve N alımının kontrollü salınlı gübreleme ile arttığını belirlemişlerdir. Kolevska ve ark. (2020) ise 1+0 yaşlı kaplı *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris* ve *Pinus pinaster* fidanların büyüme dinamikleri ve kalite özellikleri araştırarak kalite oranları ve indeksleri hesaplanmıştır. *Pinus cembroides* fidanlarında yapılan çalışmada substrattan bağımsız olarak, yüksek gübre dozu çoğu morfolojik değişkeni iyileştirdiği görülmüştür (Madrid-Aispuro ve ark. 2020). Farklı dozlarda kontrollü

salınlı gübrelerin (Multicote Agri gibi) *Pinus patula* fidanlarının kök boğazı çapı, boyu ve gürbüzlük indisi üzerine pozitif etki ettiği belirtilmektedir (Heras-Marcial ve ark. 2023). Fidan boyu açısından, vejetasyon dönemi sonunda fidanların maksimum yüksekliği ve minimum kök boğazı çapı, bir yaşındaki *Pinus pinaster* fidanları için piyasa gereksinimlerinden (sırasıyla 30 cm ve 2 mm) daha büyük olduğunu ve çalışmada uygulanan N gübrelemesinin bu özelliklerin gelişimini artırdığına kanaat getirmişlerdir (Al Pavel ve ark. 2024).

Farklı dozlarda uygulanan silikon bazlı gübrelemesinin fıstıkçami fidanlarının iğne yaprak, sürgün, gövde, kök, toprak üstü ($p=0.689$) ve toplam biyokütle ($p=0.132$) değerlerine anlamlı etki etmediği görülmüştür. Gübre uygulamasının biyokütle üzerindeki etkisizliğinin, silikonun morfolojik büyüme ve biyokütle birikimi üzerindeki farklı etki mekanizmalarından kaynaklanabileceği düşünülebilir. Nitekim Emadian ve Newton (1989), silikonun hücre genişlemesini artırarak *Pinus taeda* fidanlarında büyümeyi desteklediğini saptamıştır.

Bu çalışma, bir vejetasyon süresi boyunca silikon bazlı bir gübrelemenin tek bir populasyondan elde edilen fıstıkçami fidanları üzerinde yürütülmüştür. Silikon bazlı gübrelemenin ardışık yıllarda tekrarı ile fidanların morfolojik ve fizyolojik parametreler üzerindeki etkisi araştırmaya değer bir konudur. Ayrıca, silikon bazlı gübre ile fidanlıkta yetiştirilmiş fidanların arazi performansının değerlendirilmesi değerli veriler sağlayabilir. Fidanlık ön koşullandırma aşaması önemli olup, fidanların morfolojik ve fizyolojik özelliklerine göre en kaliteli olanları seçilmeli ve bu da fidanların genetik özelliklerine ve fidanlıkta uygulanan tekniklere bağlı olacağı unutulmamalıdır. Nitekim Landhäusser ve ark. (2023), fidanın büyümesini ve çevresel stres faktörlerinin etkilerini tahmin ederken, fidanların başlangıç özelliklerinin (hem morfolojik hem de fizyolojik) dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, farklı dozlarda (0 g, 5 g, 10 g, 15 g ve 30 g) uygulanan silikon bazlı gübrelemenin fıstıkçami fidanlarının gürbüzlük indisi, çap ve boy artımına etkisi

incelenmiştir. Düşük dozlar (0 g ve 5 g) belirgin olarak daha az boy artışı sağlarken, orta ve yüksek dozlar (10 g, 15 g ve 30 g) daha iyi sonuçlar vermiştir. Mevcut çalışma, orman ağacı fidanlarındaki silikon bazlı gübre uygulamasının fidan büyüme dinamikleri üzerine sınırlı literatüre önemli bir katkı sağlamıştır. Suda çözündürülerek uygulanan silikon bazlı gübre, Mayıs-Haziran döneminde fidanların çap ve boy artışına olumlu etki ederek gürbüzlük indisi değerini iyileştirmiştir. Ağustos ayında toz halinde (suda çözündürülmeden) uygulanan gübrenin aynı etkiyi göstermemesi, uygulama yöntemine dikkat edilmesi gerektiğine işaret edebilir. Ormancılık uygulamalarında silikon bazlı gübrelerin kullanımına yönelik daha spesifik ve detaylı araştırmaların gerekliliğine işaret etmektedir. Bu çalışma, silikon bazlı gübrelemenin fidan gelişimi üzerindeki potansiyel önemine ve optimum dozajın belirlenmesi gerekliliğine dikkat çekmektedir. Gelecek çalışmalar, belirlenen bu dozların uzun vadeli etkileri ve farklı çevresel koşullardaki performansları üzerine odaklanabilir.

TEŞEKKÜR

Göktürk Orman Fidanlık Şefi Sayın Emre ÜLKER, Sayın Orman Yüksek Mühendisi Güven KAVRAZ, Sayın Orman Mühendisi Ömer Buğra AVCI ve fidanlık çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ediyorum. Almina gübresini bize sağladığı ve bu çalışmayı yürütme fırsatını sunduğu için Sayın Serhat KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Al Pavel MA, Bravo F, Ordóñez C, Rodríguez-García E (2024) Linking the effects of nursery light and fertilization and post-transplant first summer irrigation on the field survival and growth of *Pinus pinaster* seedlings. *New Forests*, 55(2):251-271. <https://doi.org/10.1007/s11056-023-09973-x>
- Ashfaq W, Brodie G, Fuentes S, Pang A, Gupta D (2024) Silicon improves root system and canopy physiology in wheat under drought stress. *Plant and Soil*, 502(1):279-296. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06202-4>
- Ayan S, Civek E, Çelik ENY, Gülseven O, Akin ŞS, Yılmaz E (2020) Akdeniz ve Arizona servisi fidanlarının morfolojik kalite özellikleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2):580-590. <https://doi.org/10.24011/barofd.707871>
- Aytaş V, Tilki F (2012) Fidan tipi ve dikim zamanının Erzurum-Tortum yöresinde sarıçamın (*Pinus sylvestris* L.) dikim başarısına etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1):13-24.

- Balekçoglu S, Caliskan S, Dirik H (2020) Effects of geoclimatic factors on the variability in *Pinus pinea* cone, seed, and seedling traits in Turkey native habitats. *Ecological Processes*, 9:1-13. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00264-3>
- Balekçoglu S, Caliskan S, Makineci E, Dirik H (2021) Influence of seed nitrogen and carbon on germination in different populations of stone pine. *Erwerbs-Obstbau*, 63:369-374. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00593-3>
- Balekçoglu S, Caliskan S, Dirik H, Rosner S (2023a) Response to drought stress differs among *Pinus pinea* provenances. *Forest Ecology and Management*, 531:120779. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120779>
- Balekçoglu S, Caliskan S, Makineci E, Dirik H (2023b) An experimental assessment of carbon and nitrogen allocation in *Pinus pinea* populations under drought stress and rewetting treatment. *Environmental and Experimental Botany*, 210:105334. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105334>
- Boydak M, Çalışkan S (2014) Ağaçlandırma. Ormancılığı Geliştirme ve Orman Yangınları ile Mücadele Hizmetlerini Destekleme Vakfı (OGEM-VAK) Yayını, İstanbul.
- Boydak M, Çalışkan S (2015) Afforestation in Arid and Semi-Arid Regions. The General Directorate of Combating Desertification and Erosion 64.
- Chauhan SK, Sharma R (2017) Growth and quality indices of different nitrogen fixing tree nursery plants. *Indian J Ecol*, 44(2):344-347.
- Coskun D, Deshmukh R, Sonah H, Menzies JG, Reynolds O, Ma JF, Bélanger RR (2019) The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*, 221(1):67-85. <https://doi.org/10.1111/nph.15343>
- Çalışkan S, Boydak M (2017) Afforestation of arid and semiarid ecosystems in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41:317-330. <https://doi.org/10.3906/tar-1702-39>
- Çalışkan S, Balekçoglu S, Dirik H (2023) Orman Ağaçlarında Kuraklık Stresi, İklim Değişikliği: Orman Ekosistemlerinde Etkileri ve Yönetimi. Palme Yayınevi, 29-51.
- Deligöz A, Genç M, Özçelik H (2009) Kalite sınıflamasının Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] fidanlarının arazi performansına etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 10(2):37-50.
- Emadian SF, Newton RJ (1989) Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *Journal of Plant Physiology*, 134(1):98-103. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(89\)80209-3](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(89)80209-3)
- Grossnickle SC, MacDonald JE (2018) Seedling quality: history, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5):283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Heras-Marcial M, Aldrete A, Gómez-Guerrero A, Rodríguez-Trejo DA (2023) Influence of fertilization on survival and growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. under nursery and field conditions. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(1):3-14. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.019>
- Huang H, Wu H, López R, Yin D, Shen H, Zhang P (2022) Effects of pre-hardening and autumn fertilization on biomass allocation and root morphology of *Pinus koraiensis* seedlings. *Forests*, 14(1):59. <https://doi.org/10.3390/f14010059>
- Irfan M, Maqsood MA, Rehman HU, Mahboob W, Sarwar N, Hafeez OBA, ... Aziz T (2023) Silicon nutrition in plants under water-deficit conditions: overview and prospects. *Water*, 15(4):739. <https://doi.org/10.3390/w15040739>

- Ivetić V, Devetaković J, Maksimović Z (2016a) Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. *Reforest*, (2):6-21. <https://doi.org/10.21750/REFOR.2.02.17>
- Ivetić V, Grossnickle S, Škorić M (2016b) Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(1):99. <https://doi.org/10.3832/ifer1722-009>
- Ivetić V, Maksimović Z, Kerkez I, Devetaković JR (2017) Seedling quality in serbia—results from a three-year survey. *Reforest*, (4):27-53. <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.04.43>
- Jaenicke H (1999) Good Tree Nursery Practices: Practical Guidelines for Research Nurseries. World Agroforestry Centre. ICRAF, Majestic Printing Works, Nairobi.
- Jiang L, Xu X, Cai Q, Han R, Tigabu M, Jiang T, Zhao X (2022) Variations in growth and photosynthetic traits of polyploid poplar hybrids and clones in northeast China. *Genes*, 13(11):2161. <https://doi.org/10.3390/genes13112161>
- Khan I, Awan SA, Rizwan M, Brestic M, Xie W (2023) Silicon: an essential element for plant nutrition and phytohormones signaling mechanism under stressful conditions. *Plant Growth Regulation*, 100(2):301-319. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00872-3>
- Kolevska DD, Dimitrova A, Cokoski K, Basova M (2020) Growth and quality of *Pinus nigra* (Arn.), *Pinus sylvestris* (L.) and *Pinus pinaster* (Aiton) seedlings in two container types. *Reforest*, 9:21–36. <https://doi.org/10.21750/REFOR.9.04.78>
- Landhäusser SM, Wiley ET, Solarik KA, Kulbaba SP, Goepfel AE (2023) The importance of initial seedling characteristics in controlling allocation to growth and reserves under different soil moisture conditions. *Forests*, 14(4):796. <https://doi.org/10.3390/f14040796>
- Ma JF, Yamaji N (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11:392–397. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>
- Ma JF, Yamaji N (2008) Functions and transport of silicon in plants. *Cell Mol Life Sci*, 65:3049–3057. <https://doi.org/10.1007/s00018-008-7580-x>
- Madrid-Aispuro RE, Prieto-Ruiz JA, Aldrete A, Hernández-Díaz JC, Wehenkel C, Chávez-Simental JA, Mexal JG (2020) Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests*, 11(1):71. <https://doi.org/10.3390/f11010071>
- MGM (2023) Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2017-2023 Yılları Arası İklim Verileri. Ankara.
- Mañas P, Castro E, de las Heras J (2009) Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests*, 37:295-311. <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9125-4>
- Mason EG (2001) A model of the juvenile growth and survival of *Pinus radiata* D. Don; adding the effects of initial seedling diameter and plant handling. *New Forest*, 22:133–158. <https://doi.org/10.1023/A:1012393130118>
- Novikova TP, Tylek P, Mastrangelo CB, Drapaluk MV, Kharin SV, Novikov AI (2023) The root collar diameter growth reveals a strong relationship with the height growth of juvenile scots pine trees from seeds differentiated by spectrometric feature. *Forests*, 14(6):1164. <https://doi.org/10.3390/f14061164>
- Olivo VB, Buduba CG (2006) Influence of six substrates in *Pinus ponderosa* grown in containers under greenhouse conditions. *Bosque*, 27(3):267–271. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002006000300007>
- Oszako T, Kowalczyk K, Zalewska W, Kukina O, Nowakowska JA, Rutkiewicz A, ... Borowik P (2023) Feasibility of using a silicon preparation to promote growth of forest seedlings: application to pine (*Pinus sylvestris*) and Oak (*Quercus robur*). *Forests*, 14(3):577. <https://doi.org/10.3390/f14030577>
- Öner N, Kondur Y, Simsek Z, Aslan S (2015) Evaluation of survival ratios and growth of the common plantation species (*Black pine* and *Taurus cedar*) on arid and semiarid sites in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(9a):2906-2915.
- Parlak S, Güner D (2017) Mikrobiyal gübre uygulamasının karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. Pallasiana (Lamb.) Holmboe) fidanlarının bazı morfolojik özelliklerine etkisi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 4(2):100-106. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.337884>
- Semerçi A (2005) Fifth year performance of morphologically graded *Cedrus libani* seedling in the Central Anatolia region of Turkey. *Turk J Agric For*, 29:483–491.
- Shi W, Grossnickle SC, Li G, Su S, Liu Y (2019) Fertilization and irrigation regimes influence on seedling attributes and field performance of *Pinus tabulaeformis* Carr. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(1):97-107. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy035>
- Shreckhise JH, Altland JE (2024) A base layer of ferrous sulfate-amended pine bark reduces phosphorus leaching from nursery containers. *Agronomy*, 14(4):757. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040757>
- Singh A, Kumar A, Hartley S, Singh IK (2020) Silicon: its ameliorative effect on plant defense against herbivory. *Journal of Experimental Botany*, 71:6730–6743. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa300>
- SPSS (2010) IBM SPSS Statistics 19 Core System User's Guide. SPSS Inc., Chicago.
- Tapwal A, Kapoor KS, Thakur Y (2022) Growth enhancement in containerized *Pinus gerardiana* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. *Archives of Microbiology*, 204(12):724. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03328-4>
- Thompson BE (1985) Seedling Morphological Evaluation: What You Can Tell By Looking. In: Duryea ML (Ed) Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Ability of Major Tests. Oregon State University, Forest Research Laboratory, Corvallis, pp 59–72.
- Tramblay Y, Koutroulis A, Samaniego L, Vicente-Serrano SM, Volaire F, Boone A, ... Polcher J (2020) Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Science Reviews*, 210:103348. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103348>
- Ürgenç S (1988) Genel Plantasyon ve Ağaçlandırma Tekniği. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, No:444, İstanbul.
- Vaculík M, Lukačová Z, Bokor B, Martinka M, Tripathi DK, Lux A (2020) Alleviation mechanisms of metal (loid) stress in plants by silicon: a review. *Journal of Experimental Botany*, 71(21):6744-6757. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa288>
- Wang B, Zhang J, Pei D, Yu L (2021) Combined effects of water stress and salinity on growth, physiological, and biochemical traits in two walnut genotypes. *Physiologia Plantarum*, 172:176–187. <https://doi.org/10.1111/ppl.13316>
- Yahyaoglu Z, Genç M (2007) Fidan Standardizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No: 75, Isparta, 555 s.
- Yer EN, Baloglu MC, Ziplar UT, Ayan S, Unver T (2016) Drought-responsive Hsp70 gene analysis in populus at genome-wide level. *Plant Molecular Biology Reporter*, 34:483-500. <https://doi.org/10.1007/s11105-015-0933-3>