



BİLİM-TEKNOLOJİ-YENİLİK EKOSİSTEMİ DERGİSİ

JOURNAL OF SCIENCE-TECHNOLOGY-INNOVATION ECOSYSTEM

E-ISSN : 2757-6140

Sayı | Issue : 1

Yıl | Year : 2026



RESEARCH ARTICLE

Biyogübre Destekli Arpa Yetiştiriciliğinde Morfolojik ve Tane Verimlerindeki Değişimler

Morphological and Grain Yield Changes in Barley Cultivation with Biofertilizer Support

Yakup Can Eren¹✉, Fırat Alatürk²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 11.12.2025

Kabul Tarihi: 13.01.2026

Anahtar Kelimeler:

Arpa

Mikrobiyal gübre

Tane özellikleri

Morfolojik özellikler

Sürdürülebilir tarım

© 2026 Eren & Alatürk

ÖZ

Bu çalışma, farklı mikrobiyal gübre uygulamalarının arpa (*Hordeum vulgare*) bitkisinde morfolojik özellikler, verim unsurları ve dane kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 2024–2025 yetiştirme döneminde yürütülmüştür. Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuş ve Sultan arpa çeşidi kullanılmıştır. Denemede kontrol uygulamasının yanı sıra optimum N-P gübrelemesi (12 kg N da⁻¹ + 8 kg P da⁻¹) ile sekiz farklı mikrobiyal gübre uygulaması (RA17, FT1, FTH2, G3A, G3B, G4, G5 ve R1) karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, mikrobiyal gübrelerin arpada incelenen özellikler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bitki boyu uygulamalara bağlı olarak 86.49–95.09 cm arasında değişirken, başak uzunluğu 7.43–8.33 cm aralığında belirlenmiştir. Dane verimi açısından en yüksek değerler optimum N-P ve FTH2 uygulamalarında elde edilmiş, bu uygulamalar kontrol parseline kıyasla belirgin üstünlük göstermiştir. Benzer şekilde biyolojik verim bakımından da optimum N-P ve FTH2 uygulamaları ön plana çıkmıştır. Dane kalitesi yönünden bin tane ağırlığı mikrobiyal gübre uygulamalarına bağlı olarak artış göstermiş ve en yüksek değer G4 uygulamasında belirlenmiştir. Klorofil içeriği ise G3B uygulamasında en yüksek düzeye ulaşarak fotosentetik kapasitenin arttığını göstermiştir. Sonuç olarak, bazı mikrobiyal gübre uygulamalarının verim ve kalite bakımından kimyasal gübrelemeye yakın performans sergilediği belirlenmiş; mikrobiyal gübrelerin arpa yetiştiriciliğinde sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

This study was conducted during the 2024–2025 growing season to determine the effects of different microbial fertilizer applications on morphological traits, yield components, and grain quality of barley (*Hordeum vulgare*). The experiment was established in a randomized complete block design with three replications using barley cultivar, Sultan. Treatments included an unfertilized control, optimum N-P fertilization (12 kg N da⁻¹ + 8 kg P da⁻¹), and eight different microbial fertilizers (RA17, FT1, FTH2, G3A, G3B, G4, G5, and R1), which were evaluated comparatively. Results revealed that microbial fertilizers had statistically significant effects on most of the examined traits. Plant height ranged from 86.49 to 95.09 cm depending on the treatments, while spike length varied between 7.43 and 8.33 cm. The highest grain yield values were obtained from the optimum N-P and FTH2 treatments, which showed a clear advantage over the control. Similarly, optimum N-P and FTH2 applications resulted in the highest biological yield. In terms of grain quality, thousand-kernel weight increased with microbial fertilizer applications, reaching the highest value under the G4 treatment. Chlorophyll content, an important indicator of photosynthetic capacity, was highest in the G3B treatment, indicating enhanced physiological performance. Consequently, some microbial fertilizer applications exhibited yield and quality performances comparable to chemical fertilization. These findings suggest that microbial fertilizers represent a promising, environmentally friendly alternative for reducing chemical fertilizer use in barley cultivation and supporting sustainable agricultural practices.

ARTICLE INFO

Research Article

Received: 11.12.2025

Accepted: 13.01.2026

Keywords:

Barley

Microbial fertilizer

Grain characteristics

Morphological characteristics

Sustainable agriculture

Academic & Layout Editor:

Dr. Baboo Ali

✉ Correspondence: eren_yakup97@hotmail.com

Citation: Eren, Y. C., & Alatürk, F. (2026). Biyogübre destekli arpa yetiştiriciliğinde morfolojik ve tane verimlerindeki değişimler. *Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi*, Sayı: 1, 01-09.



Bu çalışma Creative Commons CC-BY 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

Giriş

Dünya nüfusunun hızla artması, tarımsal üretimde birim alandan daha fazla verim elde edilmesini zorunlu hale getirmiştir. Günümüzde bu ihtiyacı karşılamının en yaygın yolu kimyasal gübre kullanımının artırılmasıdır. Ancak yoğun ve bilinçsiz gübreleme uygulamaları hem üretim maliyetlerini yükseltmekte hem de çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır (Altunlu ve ark., 2018). Bu durum, sürdürülebilir tarım açısından alternatif gübreleme yöntemlerinin önemini artırmıştır. Son yıllarda, bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) ve diğer mikrobiyal gübreler tarımsal üretimde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu mikroorganizmalar; azot fiksasyonu, fosfor çözünürlüğünün artırılması, siderofor üretimi, fitohormon sentezi ve patojenlerin baskılanması gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla bitki gelişimini olumlu yönde etkilemektedir (Çakmakçı, 2005; Aydın ve ark., 2012; Kocamaz, 2023). Mikrobiyal gübre olarak da değerlendirilen bitki gelişimini destekleyen rizobakterilerin (PGPR), bitki gelişimine yararları bulunduğu gibi, ayrıca sitokinin (Timmusk ve ark. 1999; García de Salamone ve ark. 2001; Aslantaş ve ark. 2007), etilen (Glick ve ark. 1995), giberallin (Gutiérrez-Mañero ve ark. 2001; Joo ve ark. 2005) ve oksin (Jeon ve ark. 2003; Çakmakçı ve ark. 2007b) gibi farklı bitkisel hormonları ürettiği, toprağa azot fikse edebildiği (Şahin ve ark. 2004), fosforun bitkiler tarafından alınabilir forma dönüştürdüğü (Jeon ve ark. 2003; Çakmakçı 2005a; Canbolat ve ark. 2006), farklı bileşikler sentezleyerek patojenlere karşı antagonistik etki yaptığı çalışmalarla belirlenmiştir (Dey ve ark. 2004). Nitekim Çakmakçı ve ark. (2007a), mikrobiyal gübre uygulamalarının arpanın kök gelişimini %17–32 oranında artırarak besin alımını iyileştirdiğini ve verim parametrelerini yükselttiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Gouda ve ark. (2018), mikrobiyal gübrelerin sürdürülebilir tarımda kimyasal gübre kullanımını azaltarak çevresel etkileri sınırladığını vurgulamıştır. Türkiye’de arpa (*Hordeum vulgare* L.) üretimi özellikle hayvancılık sektörü için büyük öneme sahiptir. Ülkemizde üretilen arpanın yaklaşık %90’ı yem amacıyla kullanılmakta, ancak son yıllarda ekim alanları daralmakta ve verim düşüklüğü sorunları yaşanmaktadır (Ergün ve ark., 2017).

Arpanın düşük veriminde en önemli faktörlerden biri, toprak verimliliğinin yetersizliği ve yoğun kimyasal gübre kullanımına bağımlılıktır. Dolayısıyla, mikrobiyal gübrelerin arpa yetiştiriciliğinde kullanımı hem verimliliği artırmakta hem de yem kalitesini iyileştirmektedir (Özkan, 2021; Karadağ, 2022). Van Soest ve ark. (1991) yem bitkilerinde sindirilebilirlik ve kalite parametrelerinin gübreleme yöntemlerinden doğrudan etkilendiğini rapor etmiş, biyolojik gübre uygulamalarının bu açıdan öne çıktığını vurgulamıştır. Biyostimülantlar bitkide stres kaynaklı oluşan kalite ve verim kayıplarını önlemek için bir alternatif olmaktadır (Du Jardin, 2012; Shahrajabian ve ark., 2021). Biyostimülantlar; bitki besin ve su alımını arttıran, bitki gelişimini destekleyen, verim ve kaliteyi arttıran uygulamalardır (Yakhin ve ark., 2017; Bhupenchandra ve ark., 2020).

Bu bağlamda, yürütülen bu çalışma ile farklı mikrobiyal gübre çeşitlerinin (RA17, FT1, FTH2, G3A, G3B, G4, G5 ve R1) arpanın morfolojik ve tane özelliklerindeki değişimleri belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Elde edilecek bulgular, kimyasal gübre kullanımının azaltılmasına yönelik alternatif stratejiler sunacak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlayacaktır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma, 2024–2025 yetiştirme döneminde Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Yerleşkesi deneme alanında yürütülmüştür. Deneme alanı Akdeniz ikliminin etkisi altında olup, killi-tınlı toprak yapısına sahiptir. Bitki materyali olarak Sultan arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidi kullanılmıştır. Sultan arpa çeşidi özellikleri; altı sıralı olup ve kışlık ekim özelliği olan bitki, orta uzun boylu ve başaklanma süresi erken- orta düzeydedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2015). Çalışma, Tesadüf Blokları Deneme Deseni’ne göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Parsel boyutları 1 × 5 m olup, parseller arası boşluk 0.5 m, bloklar arası ise 1 m mesafe bırakılmıştır. Metrekarede 500–550 tohum olacak şekilde ekim yapılmış, biçim işlemleri 5 cm anız bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Denemede uygulamalar, kontrol: (gübre uygulanmamış parseller), optimum N-P: kimyasal gübre uygulaması (12 kg N da⁻¹, 8 kg P da⁻¹) ve 8 farklı mikrobiyal gübre uygulaması: (RA17, FT1, FTH2, G3A, G3B, G4, G5 ve R1) kullanılmıştır ve bunlara ait özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sultan arpa çeşidinde kurulan tarla denemesinde bakteri formüllerinde kullanılan bakterilerin bazı özellikleri**Table 1.** Some characteristics of bacteria used in bacterial formulations in the field trial established with the Sultan barley variety

Kombi- nasyon	Suş No	MALDI-TOF MS Tanı sonucu	N-free Ortamda Gelişme	Fosfor çözme	K çözme	SD üretimi	İAA üretimi	ACCD aktivitesi
1. Kontrol (bakteri ve gübre uygulanmamış)								
2. Optimum N-P (dekara 8 kg fosfor ve 12 kg azot)								
	RA17	<i>Bacillus pumilus</i>	K ⁺		+		K ⁺	
FT1	RC631	<i>Bacillus subtilis</i>	K ⁺	+	-	-	+	K ⁺
	GBF-01	<i>Bacillus megaterium</i>	K ⁺	K ⁺	-	+	K ⁺	K ⁺
	GBF 251	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	K ⁺	+	K ⁺	K ⁺	+	K ⁺
FTH2	RC631	<i>Bacillus subtilis</i>	K ⁺	+	-	-	+	K ⁺
	RC140	<i>Bacillus megaterium</i>	K ⁺	K ⁺	+	-	+	K ⁺
	RC125	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	K ⁺	+	K ⁺	K ⁺	+	K ⁺
G3A	B168	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	K ⁺	K ⁺				+
	A51	<i>Pseudomonas putida</i>	+	+		+		
	A54	<i>Bacillus pumilus</i>	K ⁺	K ⁺		+	+	
G3B	B168	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	K ⁺	K ⁺				+
	A110	<i>Pseudomonas putida</i>	K ⁺	+		+		+
	A38	<i>Bacillus licheniformis</i>	+	+			+	+
G4	A110	<i>Pseudomonas putida</i>	K ⁺	+		+		+
	G81	<i>Bacillus megaterium</i>	K ⁺	K ⁺			K ⁺	K ⁺
	A70	<i>Delftia acidovorans</i>	+	K ⁺			+	+
G5	B171	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	K ⁺	K ⁺	+		+	
	A128	<i>Pseudomonas putida</i>	K ⁺	+			+	
	A54	<i>Bacillus pumilus</i>	K ⁺	K ⁺		+	+	
R1	R512	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	K ⁺	+		-	-	K ⁺
	RC 210	<i>Bacillus subtilis</i>	+	+				+
	RC301	<i>Pantoea agglomerans</i>	K ⁺	+				

+: pozitif, K⁺: kuvvetli pozitif

Araştırmada deneme ekimleri 28 Kasım 2024'te yapılmıştır. Yabancı ot mücadelesi elle yapılmış, herhangi bir kimyasal pestisit kullanılmamıştır. Yeşil ot hasatları 22 Mayıs 2025'te, tane hasadı ise 20 Haziran 2025'te gerçekleştirilmiştir. Araştırmada arpa bitkisinde hem morfolojik hem de tane özellikleri incelenmiştir. Morfolojik özelliklerde; bitki boyu (cm), başak uzunluğu (cm), başakta başakçık sayısı (adet), başakta tane ağırlığı (g), tane özellikler kısmında; Bin tane ağırlığı (g), tane verimi (kg da⁻¹), biyolojik verim (kg da⁻¹), ve fizyolojik özellikler kısmında ise klorofil miktarı (SPAD değeri) değerleri ölçülmüştür. SPAD cihazı bitkide bayrak yaprak klorofil indeksi, yapraktan emilen ve geçen kırmızı ışığın karşılaştırılması ile klorofil miktarını ölçen bir cihazdır (Wood ve ark. 1992).

Araştırmadan elde edilen veriler, Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Tekniği'ne göre analiz edilmiştir. Ortalamaların karşılaştırılmasında LSD çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. İstatistiksel analizlerde SAS (1999) ve JMP 13 (SW) paket programları kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada uygulanan mikrobiyal gübre çeşitleri ve optimum N-P gübrelemesi, arpa bitkisinin morfolojik özellikleri üzerinde belirgin etkiler oluşturmıştır. Bitki boyu bakımından kontrol uygulaması 86.49 cm ile en düşük değeri verirken, tüm mikrobiyal gübre uygulamaları ve optimum N-P bu değerin üzerinde sonuçlar sağlamıştır. En yüksek bitki boyu 95.09 cm ile FT1 uygulamasında belirlenmiş; bunu 94.04 cm ile FTH2, 93.99 cm ile N-P, 93.89 cm ile G3A ve 93.23 cm ile G5 uygulamaları takip etmiştir. Diğer uygulamalardan RA17 92.73 cm, R1 92.23 cm, G4 90.64 cm ve G3B 90.01 cm değerlerini oluşturmıştır. Bu sonuçlar, mikrobiyal gübre uygulamalarının genel olarak bitkinin vejetatif gelişimini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Çizelge 2).

Başak uzunluğu açısından da benzer bir eğilim gözlenmiştir. Kontrol parseli 7.43 cm ile en düşük değeri verirken, diğer tüm uygulamalar bu değerin üzerinde başak uzunlukları sağlamıştır. En yüksek başak uzunluğu 8.33 cm ile Optimum N-P uygulamasında belirlenmiş; bu uygulamayı 8.23 cm ile FTH2, 8.13 cm ile FT1, 8.10

cm ile G4 ve 8.03 cm ile hem G5 hem de R1 uygulamaları izlemiştir. Mikrobiyal uygulamalar içinde RA17 ve G3B 7.86 cm, G3A ise 7.90 cm değerleri ile kontrolün üzerinde fakat daha sınırlı bir artış göstermiştir. Bu bulgular, mikrobiyal gübrelerin başak yapısının gelişimine katkı sunduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 2).

Başakta başakcık sayısı bakımından da uygulamalar arasında istatistiki anlamda önemli farklar tespit edilmiştir. Kontrol uygulaması 20.20 adet ile en düşük başakta başakcık sayısını vermiştir. Mikrobiyal gübreler içerisinde RA17 uygulaması 22.73 adet ile en yüksek değeri elde etmiş; FTH2 uygulaması da 22.86 adet ile benzer şekilde oldukça yüksek bir başakta başakcık oluşumu sağlamıştır. Optimum N-P uygulaması 22.46 adet ile yüksek performans göstermiştir. Diğer uygulamalar incelendiğinde FT1 21.06 adet, G4 21.28 adet, G5 20.76 adet ve R1 20.40 adet başakta başakcık oluşturmuştur. G3A (20.60 adet) ve G3B (20.63 adet) uygulamaları ise sınırlı artış sağlamış ancak kontrolün üzerinde değerler vermiştir (Çizelge 2).

Genel olarak değerlendirildiğinde, mikrobiyal gübre uygulamalarının arpanın tüm morfolojik özelliklerinde kontrol uygulamasına göre olumlu etkiler oluşturduğu açıkça görülmektedir. Özellikle FT1, FTH2, RA17 ve Optimum N-P uygulamaları bitkinin boyunu, başak uzunluğunu ve başakta başakcık sayısını artırarak verim unsurlarında iyileşme sağlamıştır. Bazı mikrobiyal uygulamaların N-P gübrelemesine oldukça yakın performans sergilemesi, bu ürünlerin sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir alternatif oluşturabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, mikrobiyal gübrelerin bitki gelişimini teşvik edici etkilerini ortaya koymaktadır. Çakmakçı ve ark. (2007a), arpa bitkisinde PGPR uygulamalarının kök gelişimini %17–32 oranında artırarak bitki boyu ve başak özelliklerinde belirgin iyileşmeler sağladığını bildirmiştir. Kocamaz (2023) ise mikrobiyal gübrelerin kök büyümesini destekleyerek bitkinin morfolojik özellikleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu rapor etmiştir. Çalışmamızdan elde edilen bulgular, bu literatür sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Mikrobiyal gübre uygulamaları bitki boyu, başak uzunluğu ve başakta başakcık sayısını kontrol grubuna kıyasla artırmış olup (Çizelge 2), bu artışın özellikle kök bölgesinde mikrobiyal faaliyetlerin yoğunlaşmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Rizosferde aktif hale gelen bitki gelişimini teşvik edici rizobakteriler (PGPR), IAA (indol asetik asit), gibberellin ve sitokinin gibi çeşitli bitki büyüme düzenleyicilerini sentezleyerek hücre bölünmesini ve uzamasını desteklemektedir. Bu fizyolojik mekanizmalar sonucunda arpa bitkisinin hem vejetatif büyümesi hem de başak oluşumu belirgin şekilde artmaktadır. Nitekim Çakmakçı ve ark. (2007a), PGPR uygulamalarının arpa fidelerinde besin alımını ve hormon üretimini artırarak morfolojik özellikleri iyileştirdiğini vurgulamış; Kocamaz (2023) ise mikrobiyal gübrelerin kök gelişimi üzerinden üst aksam büyümesine önemli oranda katkı yaptığını ifade etmiştir. Elde edilen araştırma sonuçları, mikrobiyal gübrelerin arpa yetiştiriciliğinde morfolojik gelişimi destekleyen etkilerini doğrular niteliktedir.

Çizelge 2. Mineral gübre, mikrobiyal gübre ve bakteri uygulamalarının arpa bitki boyu, başak uzunluğu ve başakta başakcık sayısına etkisi

Table 2. The effect of mineral fertilizer, microbial fertilizer, and bacterial applications on barley plant height, ear length, and number of spikelets per ear

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)**	Başak Uzunluğu (cm)	Başakta Başakcık Sayısı (adet)
Kontrol	86.49 e	7.43 c	20.20 c
Optimum N-P	93.99 ab	8.33 a	22.46 ab
RA17	92.73 abc	7.86 b	22.73 a
FT1	95.09 a	8.13 ab	21.06 bc
FTH2	94.04 ab	8.23 a	22.86 a
G3A	93.89 ab	7.90 b	20.60 c
G3B	90.01 d	7.86 b	20.63 c
G4	90.64 cd	8.10 ab	21.28 abc
G5	93.23 ab	8.03 ab	20.76 c
R1	92.23 bcd	8.03 ab	20.40 c

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)**	Başak Uzunluğu (cm)	Başakta Başakçık Sayısı (adet)
Ortalama	92.23	7.99	21.30
Önemlilik*	P _{BB} : 0.000	P _{BU} :0.000	P _{BS} :0.005

*BB: Bitki boyu, BU: Başak uzunluğu, BS: Başakçık sayısı,**Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli ($p \leq 0.05$) önemli değildir.

Başak Ağırlığı ve Başakta Dane Ağırlığı

Başak ağırlığı değerleri 2.26 g (kontrol) ile 2.82 g (FTH2) arasında değişmiştir (Çizelge 3). Mikrobiyal gübre uygulamaları başak ağırlığını genel olarak kontrol uygulamasına kıyasla artırmıştır. Mikrobiyal gübrelerin başakta dane ağırlığını kontrol uygulamasına göre artırdığı bakımından da benzer eğilim gözlenmiş, kontrol grubunda 2.02 g olarak ölçülen değer FTH2 uygulamasında 2.45 g'a ulaşmıştır. Özellikle FTH2 uygulaması başak ve başakta dane ağırlığında optimum N-P'ya yakın ya da daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Çizelge 3. Mineral gübre, mikrobiyal gübre ve bakteri uygulamalarının arpa başak ve dane ağırlığına etkisi

Table 3. The effect of mineral fertilizer, microbial fertilizer, and bacterial applications on barley ear and grain weight

Uygulamalar	Başak Ağırlığı (g)	Başakta Dane Ağırlığı (g)
Kontrol	2.26 c	2.02 e
Optimum N-P	2.57 b	2.42 ab
RA17	2.52 b	2.23 cd
FT1	2.53 b	2.30 a-d
FTH2	2.82 a	2.45 a
G3A	2.51 b	2.21 d
G3B	2.50 b	2.30 a-d
G4	2.51 b	2.27 b-d
G5	2.55 b	2.39 abc
R1	2.53 b	2.34 a-d
Ortalama	2.53	2.29
Önemlilik*	0.002	0.000

*Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli ($p \leq 0.05$) önemli değildir.

Mikrobiyal gübreler, dane doldurma döneminde besin elementi alımını kolaylaştırarak başak ve başakta dane ağırlığını artırmaktadır. Benzer şekilde Karadağ (2022), arpa üzerinde yaptığı çalışmada mikrobiyal gübrelerin başakta dane ağırlığını artırdığını bildirmiştir. Ayrıca Aydın ve ark. (2012) PGPR ve hümitik asit uygulamalarının brokoli bitkisinde dane verimi ve biyokütleyi yükselttiğini belirtmiştir. Bulgularımız bu çalışmalarla örtüşmektedir. Başak ve Başakta dane ağırlıkları mikrobiyal gübre uygulamalarıyla artış göstermiştir (Çizelge 3). Özellikle FTH2 uygulaması başak ağırlığını kontrol grubuna göre %25 oranında yükseltmiştir. Bu artışın temel nedeni, mikrobiyal gübrelerin bitkinin azot ve fosfor alımını kolaylaştırmasıdır. Azot, özellikle protein ve enzim sentezi için kritik olduğundan, dane doldurma sürecinde verim artışı sağlamaktadır. Fosfor ise enerji metabolizmasında (ATP sentezi) rol oynayarak karbonhidratların dane içine taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle mikrobiyal gübreler, arpa bitkisinin dane doldurma fizyolojisini desteklemektedir. Karadağ (2022), PGPR uygulamalarının arpa dane doldurma sürecinde karbonhidrat birikimini artırdığını bildirmiştir.

Biyolojik Verim ve Dane Verimi

Arpa bitkisinde biyolojik verim de uygulamalara göre önemli ölçüde değişmiştir (Çizelge 4). Biyolojik verim 1072.9 kg da⁻¹ (kontrol) ile 1366.6 kg da⁻¹ (N-P) arasında değişmiştir. Mikrobiyal gübre uygulamaları, biyolojik verim kontrol grubuna göre %20–30 oranında artırmıştır. Bu sonuç, ot veriminin yem üretimi açısından mikrobiyal gübrelerle artırılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Dane verimi bakımından uygulamalar arasında önemli farklılıklar saptanmıştır (Çizelge 4). Kontrol grubunda 473.2 kg da⁻¹ olan dane verimi, optimum N-P uygulamasında 609.6 kg da⁻¹ ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Mikrobiyal gübreler içerisinde FTH2 uygulaması 603.0 kg da⁻¹ ile öne çıkmış ve N-P uygulamasına oldukça yakın değerler vermiştir. RA17, FT1, G3B ve R1 uygulamaları da kontrol grubuna kıyasla daha yüksek verim sağlamıştır.

Çizelge 4. Mineral gübre, mikrobiyal gübre ve bakteri uygulamalarının arpada biyolojik verim ve dane verimine etkisi

Table 4. The effect of mineral fertilizer, microbial fertilizer, and bacterial applications on biological yield and grain yield in barley

Uygulamalar	Biyolojik verimi (kg da ⁻¹)	Dane verimi (kg da ⁻¹)
Kontrol	1072.9 d	473.2 d
Optimum N-P	1366.6 a	609.6 a
RA17	1294.0 bc	585.2 bc
FT1	1322.8 ab	589.5 bc
FTH2	1364.9 a	603.0 ab
G3A	1248.8 c	570.3 c
G3B	1309.8 abc	587.8 bc
G4	1254.2 c	577.2 c
G5	1301.2 abc	582.9 bc
R1	1308.5 abc	586.8 bc
Ortalama	1284.3	576.5
Önemlilik*	0.000	0.000

*Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli ($p \leq 0.05$) önemli değildir.

Biyolojik verimdeki artış, mikrobiyal gübrelerin bitki büyümesini teşvik edici etkisini göstermektedir. Emilia ve ark. (2020) Biyostimülantlar özellikle stres koşullarında biyokütle artışına katkı sağladığını belirtmiştir. Ayrıca Gouda ve ark. (2018) PGPR uygulamalarının biyolojik verimi yükselttiğini bildirmiştir. Çalışmamızın sonuçları bu literatürle uyumludur. Mikrobiyal gübreler biyolojik verimi %20–30 oranında artırmıştır (Çizelge 4). Bu artışın, bakterilerin kök bölgesinde oluşturduğu fosfor çözünürlüğü ve azot fiksasyonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Köklerin daha iyi gelişmesi, fotosentez ürünlerinin (özellikle şekerlerin) daha fazla gövde ve sap dokusunda depolanmasını sağlamaktadır. Ayrıca mikrobiyal gübrelerin salgıladığı bazı enzimler (fosfataz, dehidrogenaz), bitki metabolizmasını aktive ederek biyokütle artışına katkı sağlamaktadır. Emilia ve ark. (2020) Biyostimülantlar stres koşullarında osmoprotektan üretimini artırarak biyokütle artışını desteklediğini belirtmiştir.

Mikrobiyal gübreler dane verimini önemli ölçüde artırmış ve optimum N-P'ya yakın sonuçlar vermiştir. Altunlu ve ark. (2018) biyolojik gübrelerin toprak mikrobiyal aktivitesini artırarak ürün verimliliğini desteklediğini bildirmiştir. Küçük ve Güler (2009) ise biyokontrol mikroorganizmalarının bitki gelişimini teşvik ettiğini rapor etmiştir. Bulgularımız bu çalışmalarla örtüşmekte, mikrobiyal gübrelerin sürdürülebilir arpa üretiminde güçlü bir alternatif olduğunu göstermektedir. FTH2 uygulaması 603.0 kg da⁻¹ ile öne çıkmıştır. Bu durum, mikrobiyal gübrelerin dane veriminde kimyasal gübreye alternatif olabileceğini göstermektedir. Fizyolojik açıdan değerlendirildiğinde, mikrobiyal gübreler özellikle azot metabolizmasını düzenlemekte, protein sentezini artırmakta ve fotosentez kapasitesini geliştirmektedir. Bunun sonucu olarak asimilasyon ürünlerinin daha verimli şekilde dane organına taşınması sağlanmaktadır. Altunlu ve ark. (2018), biyolojik gübrelerin bitkilerde azot kullanım etkinliğini artırdığını bildirmiştir.

Bin Dane Ağırlığı ve Klorofil Miktarı

Bin tane ağırlığı 39.06 g (kontrol) ile 43.13 g (G4) arasında değişmiştir (Çizelge 5). Mikrobiyal gübre uygulamasının tamamı kontrol grubuna kıyasla daha yüksek değerler sağlamış, özellikle RA17, FT1 ve G4 uygulamaları bin dane ağırlığını daha fazla artırmıştır. Klorofil miktarı bakımından ise 39.9 SPAD (kontrol)

ile 50.1 SPAD (G3B) arasında değişim gözlenmiştir. G3B uygulaması, tüm uygulamalar arasında en yüksek klorofil değerini vermiştir.

Çizelge 5. Mineral gübre, mikrobiyal gübre ve bakteri uygulamalarının arpa bin tane ağırlığı ve klorofil miktarına etkisi

Table 5. The effect of mineral fertilizer, microbial fertilizer, and bacterial applications on barley thousand-grain weight and chlorophyll content

Uygulamalar	Bin Dane Ağırlığı (g)	Klorofil Miktarı (SPAD)
Kontrol	39.1 d	39.9 c
Optimum N-P	42.7 ab	46.9 b
RA17	43.0 a	47.8 ab
FT1	42.6 ab	47.5 ab
FTH2	41.5 abc	47.6 ab
G3A	40.7 bcd	47.1 b
G3B	41.7 abc	50.1 a
G4	43.1 a	45.0 b
G5	40.6 cd	45.1 b
R1	41.8 abc	47.8 ab
Ortalama	41.6	46.45
Önemlilik*	0.003	0.000

*Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklar kendi grubunda önemli ($p \leq 0.05$) önemli değildir.

Mikrobiyal gübrelerin klorofil miktarını artırması fotosentez kapasitesini geliştirdiğini göstermektedir. Çakmakçı (2005) rizosfer bakterilerinin fitohormon üretimi sayesinde klorofil içeriğini artırdığını bildirmiştir. Özkan (2021) da mikrobiyal gübrelerin toprak enzim aktivitesini ve bitkinin fotosentetik kapasitesini yükselttiğini rapor etmiştir. Çalışmamız bu literatürle uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Bin dane ağırlığı mikrobiyal gübrelerle artmış, klorofil miktarı da özellikle G3B uygulamasında en yüksek değere ulaşmıştır (Çizelge 5). Mikrobiyal gübrelerin klorofil içeriğini artırması, fotosentez kapasitesinin yükselmesine işaret etmektedir. Bakteriler tarafından üretilen sideroforlar, bitkiye demir alımında avantaj sağlar. Demir ise klorofil biyosentezinde anahtar rol oynar. Dolayısıyla mikrobiyal gübreler, demir temini üzerinden dolaylı olarak klorofil sentezini ve fotosentez etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca fitohormon etkileri de yaprak yüzeyinde daha yüksek klorofil tutulumuna neden olmaktadır. Çakmakçı (2005) ve Özkan (2021) benzer şekilde mikrobiyal gübrelerin fotosentez verimliliğini artırarak dane ağırlığına olumlu katkı yaptığını bildirmiştir.

Sonuç

Bu araştırmada, 8 farklı mikrobiyal gübrenin arpa bitkisinin verim ve kalite parametreleri üzerine etkileri incelenmiş ve önemli bulgular elde edilmiştir. Mikrobiyal gübre uygulamaları, kontrol grubuna göre bitki boyu, başak uzunluğu, başakta başakçık sayısı, biyolojik ve dane veriminde belirgin artışlar sağlamış; özellikle FTH2 ve RA17 uygulamaları, optimum N-P gübrelemesine yakın veya eşdeğer sonuçlar vermiştir. Bin tane ağırlığı ve klorofil miktarında görülen artış, mikrobiyal gübrelerin fotosentez etkinliğini ve dane doldurma sürecini desteklediğini göstermektedir.

Biyostimülantlar besin alımını artırıp ve besin kullanımını iyileştirerek verimliliği artırır. Gübre değildirler, fakat gübreler tarafından sağlanan etkileri yükseltebilirler. Bunun yanında bitkisel üretimde verim kaybına neden olan hastalık ve zararlı yönetimine önemli katkılar sağlayıp bitki koruma ürünlerine olan talebi önemli ölçüde azaltabilirler. Zararlılara ve patojenlere karşı direnci artırır ve stres koşulları altında bitki büyümesini destekler. Biyostimülantlar, yem bitkilerinde biyokütle kalitesini artırır ve yeşil alan bitkilerinin görsel görünümünü iyileştirirler. Bitkilerde metabolik ve enzimatik süreçleri teşvik ederek verimi, üretkenliği ve mahsul kalitesini artırabilen ve abiyotik streslere karşı direnci yükselten sürdürülebilir ve çevre dostu ürünlerdir.

Elde edilen bu bulgular, mikrobiyal gübrelerin arpa yetiştiriciliğinde yalnızca verim artışı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yem kalitesini de yükselttiğini göstermektedir. Bu durum, özellikle hayvancılıkta daha yüksek besin değerine sahip yem elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Uygulama açısından değerlendirildiğinde, mikrobiyal gübreler çiftçiler için girdi maliyetlerini azaltabilecek, toprak sağlığını koruyarak uzun vadede verimliliği sürdürülebilir kılacak ve çevresel kirliliği azaltarak sürdürülebilir tarımın gelişimine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak mikrobiyal gübrelerin arpa üretiminde yaygınlaştırılması hem üretici hem de hayvancılık sektörü açısından stratejik bir öneme sahiptir. Gelecekte farklı arpa çeşitleri ve ekolojik bölgelerde yapılacak uzun süreli çalışmalar, mikrobiyal gübrelerin etkinliğini daha geniş bir çerçevede değerlendirmeye olanak sağlayacaktır.

Ek Bilgiler ve Beyanlar

Teşekkür: Bu çalışma, 123-O-044 numaralı TÜBİTAK-1001 projesi desteği ile yürütülmüştür. Bu kapsamda sağladığı destek için TÜBİTAK’a şükranlarımızı sunarız. Bu çalışma ayrıca Yakup Can Eren’in Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nde yürüttüğü yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Araştırmacıların Katkı Oranı: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynakça

- Altunlu, H., Akat, H., & Akat Saraçoğlu, Ö. (2018). Toprağa arıtma çamuru uygulamasının gül üretiminde bitki gelişimi, verim ve klorofil içeriğine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 31(2), 175-180.
- Aslantaş, R., Çakmakçı, R., & Şahin, F. (2007). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae*, 111(4), 371-377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.016>
- Aydın, A., Yıldırım, E., Karaman, M. R., Turan, M., Demirtaş, A., Şahin, F., Güneş, A., Esringü, A., Dizman, M., & Tutar, A. (2012). Humik asit, PGPR ve kimyasal gübre uygulamalarının brokoli (*Brassica oleracea*) bitkisinin bazı verim parametreleri üzerine etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen-Edebiyat Dergisi*, 1, 309-316.
- Bhupenchandra, I., Devi, S.H., Basumatary, A., Dutta, S., Singh, L.K., Kalita, P., Bora, S.S., Devi, S.R., Saikia, A., Sharma, P., Bhagowati, S., Tamuli, B., Dutta, N., Borah, K. (2020). Biostimulants: Potential and prospects in agriculture. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry* 21(14): 20-35.
- Canbolat, M. Y., Bilen, S., Çakmakçı, R., Şahin, F., & Aydın, A. (2006). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 350-357. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0034-9>
- Çakmakçı, R. (2005). Bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin tarımda kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(1), 97-107.
- Çakmakçı, R., Dönmez, M., & Erdoğan, Ü. (2007a). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(3), 189-199.
- Çakmakçı, R., Erat, M., Erdoğan, Ü., & Dönmez, M. F. (2007b). The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(2), 288-295. <https://doi.org/10.1002/jpln.200625105>
- Dey, R., Pal, K. K., Bhatt, D. M., & Chauhan, S. M. (2004). Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 159(4), 371-394. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2004.08.004>
- Du Jardin, P. (2012). The science of plant Biostimulants-a bibliographic analysis. Ad hoc Study Report. Brussels: European Commission. <http://hdl.handle.net/2268/169257>
- Emilia, D. A., Luisa, D. A., Stefania, D. P., & Petronia, C. (2020). Use of biostimulants to improve salinity tolerance in agronomic crops. *Agronomic Crops: volume 3: stress responses and tolerance* (pp. 423-441). Singapore: Springer.

- Ergün, N., Aydoğan, S., Sayım, İ., Karakaya, A., & Oğuz, A. Ç. (2017). Arpa (*Hordeum vulgare* L.) köy çeşitlerinde tane verimi ve bazı tarımsal özelliklerin incelenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 180-189.
- García de Salamone, I. E., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2001). Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(5), 404-411. <https://doi.org/10.1139/w01-029>
- Glick, B. R., Jacobson, C. B., Schwarze, M. M. K., & Pasternak, J. J. (1995). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 do not stimulate canola root elongation. *Canadian Journal of Microbiology*, 41(10), 911-915. <https://doi.org/10.1139/m95-127>
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140.
- Gutiérrez-Mañero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehrouachi, J., Tadeo, F. R., & Talon, M. (2001). The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*, 111(2), 206-211. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x>
- Jeon, J. S., Lee, S. S., Kim, H. Y., Ahn, T. S., & Song, H. G. (2003). Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. *Journal of Microbiology*, 41(4), 271-276.
- Joo, G. J., Kim, Y. M., Lee, I. J., Song, K. S., & Rhee, I. K. (2005). Growth promotion of red pepper seedlings by gibberellin-producing *Bacillus cereus*, *Bacillus macroides* and *Bacillus pumilus*. *Biotechnology Letters*, 27, 487-491. <https://doi.org/10.1007/s10529-005-2210-9>
- Karadağ, E. (2022). Mineral gübre ve bitki gelişmesini teşvik edici bakteri uygulamalarının arpa bitkisinin gelişimi ve verimi üzerine etkileri (Yüksek lisans tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocamaz, C. (2023). Farklı mikrobiyal gübre dozlarının çim karışımının kuraklığa toleransı üzerine etkisi (Yüksek lisans tezi). Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Küçük, Ç., & Güler, İ. (2009). Bitki gelişimini teşvik eden bazı biyokontrol mikroorganizmalar. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 7(1), 30-42.
- Özkan, B. (2021). Ticari mikrobiyal gübrelerin toprağın enzim aktivitesi ve toprak mikroflorası üzerindeki etkileri (Yüksek lisans tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- SAS. (1999). SAS V8 Online Manual. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Shahrajabian, M.H., Chaski, C., Polyzos, N., Petropoulos, S. A. (2021). Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules*, 11: 698. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>
- Şahin, F., Çakmakçı, R., & Kantar, F. (2004). Sugar beet and barley yield in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate-solubilizing bacteria. *Plant and Soil*, 265, 123-129. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0334-4>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2015). Scarpia, ramata, campagne ve sultan arpa çeşit adaylarının tescili hakkında rapor (Link:<https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Duyuru%20Belgeleri/2015%20tescil/serin%20iklim/Arpa/trakya6sira.pdf>) (Erişim tarihi: 31.12.2025).
- Timmusk, S., Nicander, B., Granhall, U., & Tillberg, E. (1999). Cytokinin production by *Paenibacillus polymyxa*. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(13), 1847-1852. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00113-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00113-3)
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Wood, C. W., Reeves, D. W. and Himelrick, D. G., 1992. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration. N status and crop yield. A review: *Proc. Agro. Sco. N. Z.* 23,1-9.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Front. Plant Science*, 7: 20-49. doi:10.3389/fpls.2016.02049