



BİLİM-TEKNOLOJİ-YENİLİK EKOSİSTEMİ DERGİSİ

JOURNAL OF SCIENCE-TECHNOLOGY-INNOVATION ECOSYSTEM

E-ISSN : 2757-6140

Volume : 7

Issue : 2

Year : 2026



RESEARCHARTICLE

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteri Kombinasyonlarının Yulaf (*Avena sativa* L.)'ta Ot Verimi ve Bazı Yem Kalite Özellikleri Üzerine EtkileriEffects of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Combinations on Hay Yield and Some Feed Quality Traits of Oat (*Avena sativa* L.)Nisasu Coşkunlar¹✉, Fırat Alatürk²¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.06.2026

Kabul: 27.06.2026

Yayın: 02.07.2026

Anahtar Kelimeler:

Yulaf
Mikrobiyal gübre
Ot kalitesi
Ot verimi
Sürdürülebilir tarım

Mizanpaj Editörü:

Habibe Doğan

ÖZ

Bu araştırma, farklı bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR) kombinasyonlarının yulaf (*Avena sativa* L.)'ın ot verimi ve bazı yem kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla Çanakkale koşullarında yürütülmüştür. Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuş ve farklı mikrobiyal gübre kombinasyonları ile kimyasal gübre uygulamaları karşılaştırılmıştır. Çalışmada yeşil ot verimi, kuru ot verimi, bitki boyu, salkım özellikleri ile ham protein, ham kül, NDF, ADF, ADL, kuru maddenin sindirilebilirliği ve organik maddenin sindirilebilirliği gibi yem kalite parametreleri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, gübre uygulamalarının yeşil ot verimi, bitki boyu ve salkım boyu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek yeşil ot verimi F-1 uygulamasından elde edilirken, F-1, F-9 ve F-10 uygulamalarında daha yüksek bitki boyu değerleri belirlenmiştir. Salkım boyu bakımından ise GBF-80 uygulaması öne çıkmıştır. Kuru ot verimi, kuru madde oranı, salkımda tane sayısı ve 1000 tane ağırlığı üzerine uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yem kalite özellikleri bakımından uygulamalar arasında önemli farklılıklar belirlenmemekle birlikte, bazı PGPR uygulamalarının ham protein oranı ve sindirilebilirlik değerleri üzerinde olumlu eğilimler oluşturduğu belirlenmiştir. Araştırma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerini içeren çoklu PGPR kombinasyonlarının yulafın vejetatif gelişimini desteklediği ve sürdürülebilir yem bitkisi yetiştiriciliğinde alternatif biyolojik gübreleme materyali olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ARTICLE INFO

Research Article

Received: 02.06.2026

Accepted: 27.06.2026

Published: 02.07.2026

Keywords:

Oat
Microbial fertilizer
Hay quality
Hay yield
Sustainable agriculture

ABSTRACT

This study was conducted under Çanakkale ecological conditions to determine the effects of different plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) combinations on forage yield and some feed quality traits of oat (*Avena sativa* L.). The experiment was established in a randomized complete block design with three replications, and different microbial fertilizer combinations were compared with chemical fertilizer applications. Green forage yield, dry hay yield, plant height, panicle characteristics, crude protein, crude ash, NDF, ADF, ADL, dry matter digestibility, and organic matter digestibility were investigated in this study. According to the results, fertilizer applications had significant effects on fresh hay yield, plant height, and panicle length. Highest fresh hay yield was obtained from F-1 application, while higher plant height values were recorded in F-1, F-9, and F-10 treatments. GBF-80 treatment was prominent in terms of panicle length.

✉ **Correspondence:** nisasucoskunlar@gmail.com (Nisasu Coşkunlar)**Citation:** Coşkunlar, N., & Alatürk, F. (2026). Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri kombinasyonlarının yulafta (*Avena sativa* L.) ot verimi ve bazı yem kalite özellikleri üzerine etkileri. *Bilim-Teknoloji-Yenilik Ekosistemi Dergisi*, 7(2), 131-143.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution CC-BY 4.0 International License.



However, the effects of applications on dry hay yield, dry matter ratio, number of grains per panicle, and thousand-grain weight were statistically non-significant. Although, non-significant differences were detected among treatments for hay quality traits, some PGPR applications showed positive tendencies in crude protein content and digestibility parameters. Overall, the results indicated that multiple PGPR combinations containing *Pseudomonas* and *Bacillus* species promoted vegetative growth of oat, and could be considered as alternative biofertilizers for sustainable forage crop cultivation.

Giriş

Yem bitkileri, sürdürülebilir hayvansal üretimin temel bileşenlerinden biri olup kaliteli kaba yem ihtiyacının karşılanmasında önemli bir role sahiptir. Hayvancılık işletmelerinde verimliliğin artırılabilmesi, büyük ölçüde kaliteli ve dengeli kaba yem kullanımına bağlıdır. Bu nedenle yüksek verimli ve kaliteli yem bitkilerinin üretimi hem ekonomik hem de sürdürülebilir tarım açısından stratejik öneme sahiptir. Serin iklim tahılları içerisinde önemli bir yere sahip olan yulaf (*Avena sativa* L.), yüksek adaptasyon yeteneği, hızlı gelişme kapasitesi ve kaliteli kaba yem üretme potansiyeli nedeniyle yaygın olarak yetiştirilmektedir (Avcıoğlu ve ark. 2009). Yulaf hem insan beslenmesinde hem de hayvan beslenmesinde değerlendirilebilen önemli tahıl türlerinden biridir. İnsan beslenmesinde özellikle yüksek lif, protein ve β -glukan içeriği nedeniyle fonksiyonel gıda olarak önem kazanırken, hayvan beslenmesinde ise yeşil ot, kuru ot, silaj ve dane yem olarak kullanılmaktadır (Hoffmann, 1995; Buerstmayr ve ark. 2007). Yulafın yüksek sindirilebilirlik özelliğine sahip olması ve diğer serin iklim tahıllarına göre daha kaliteli kaba yem üretmesi, özellikle süt ve besi hayvancılığı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Topal ve ark. 2015). Ayrıca yulaf bitkisinin hızlı ilkbahar gelişimi göstermesi, meraların yeterli otlama olgunluğuna ulaşmadığı dönemlerde alternatif kaba yem kaynağı olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Türkiye’de yem bitkileri üretiminde kaliteli kaba yem açığı önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Artan hayvansal üretim talebi ile birlikte yem bitkilerinde verim ve kaliteyi artırmaya yönelik uygulamaların önemi her geçen yıl artmaktadır. Bu amaçla yoğun şekilde kimyasal gübre kullanımı yapılmakta, ancak bilinçsiz ve aşırı gübreleme uygulamaları toprak sağlığı ve çevre üzerinde önemli sorunlara neden olmaktadır. Kimyasal gübrelerin uzun süreli ve yüksek dozlarda kullanımı; toprakta tuzluluk artışı, organik madde kaybı, ağır metal birikimi ve yer altı su kaynaklarında kirlenme gibi çevresel problemlere yol açabilmektedir (Karaca & Turgay, 2012). Bunun yanında yüksek kimyasal gübre maliyetleri, üretim giderlerini artırarak tarımsal sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Son yıllarda sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında kimyasal gübre kullanımını azaltabilecek çevre dostu alternatifler üzerinde yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Bu alternatiflerden biri de bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) olarak tanımlanan faydalı mikroorganizmalardır. PGPR’ler, bitki kök bölgesinde kolonize olarak bitki gelişimini doğrudan veya dolaylı yollarla destekleyen mikroorganizmalardır (Kloepper & Schroth, 1978). Bu bakteriler; biyolojik azot fiksasyonu, fosfor çözündürme, potasyum mobilizasyonu, siderofor üretimi, fitohormon sentezi ve ACC deaminaz aktivitesi gibi mekanizmalar aracılığıyla bitki gelişimini teşvik etmektedir (Glick, 2012). PGPR uygulamalarının tahıllarda bitki gelişimi, verim ve kalite özellikleri üzerine olumlu etkiler oluşturduğu birçok araştırmada bildirilmektedir. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* cinsine ait bakterilerin tahıllarda kök gelişimini artırdığı, besin elementi kullanım etkinliğini iyileştirdiği ve bitki biyokütle üretimini desteklediği belirtilmektedir (Çakmakçı ve ark. 2007; Adesemoye ve ark. 2008). Ayrıca PGPR uygulamalarının bitki stres toleransını artırarak kuraklık ve besin elementi yetersizliği gibi olumsuz çevre koşullarında bitki gelişimini destekleyebildiği ifade edilmektedir (Bhattacharyya & Jha, 2012). Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), bitki büyümesi ve verimliliğini artırmalarının yanı sıra bitkilerin çeşitli biyotik stres etmenlerine karşı dayanıklılığını güçlendirmeleri nedeniyle sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir yer edinmiştir. PGPR’lar azot fiksasyonu, fosfat çözünürlüğünün artırılması, fitohormon üretimi ve besin elementi alımının teşvik edilmesi gibi mekanizmalarla bitki gelişimini desteklemektedir. Bunun yanında, birçok PGPR türü bitkilerde uyarılmış sistemik dayanıklılığı (Induced Systemic Resistance, ISR) aktive ederek bakteriyel, fungal ve viral patojenlere karşı doğal savunma mekanizmalarını güçlendirmektedir. Böylece hastalık şiddetinin azalmasına, bitki sağlığının korunmasına ve ürün kayıplarının sınırlandırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle PGPR temelli biyogübreler, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını azaltabilecek çevre dostu ve sürdürülebilir biyolojik alternatifler olarak değerlendirilmektedir (Lugtenberg & Kamilova, 2009; Glick, 2012; Pieterse ve ark., 2014; Backer ve ark., 2018). Yem bitkilerinde yürütülen çalışmalarda PGPR uygulamalarının yalnızca verim parametreleri üzerinde değil, aynı zamanda yem kalite özellikleri üzerinde de etkili olabileceği bildirilmektedir. Rizobakterilerin bitki beslenmesini iyileştirmesi sonucu ham protein oranının artabildiği, lif oranlarının azalabildiği ve sindirilebilirlik özelliklerinin iyileşebildiği belirtilmektedir (Vessey, 2003). Bununla birlikte PGPR uygulamalarının etkileri; kullanılan bakteri türüne, bitki çeşidine, çevresel koşullara ve

uygulama yöntemine bağlı olarak değişebilmektedir. Çanakkale ili, geçiş iklim özellikleri göstermesi ve yem bitkileri üretimine uygun ekolojik koşullara sahip olması nedeniyle yulaf yetiştiriciliği açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bölgede yem bitkileri üretiminde sürdürülebilir gübreleme stratejilerine yönelik çalışmalar sınırlı düzeydedir. Özellikle farklı PGPR kombinasyonlarının yulafın verim ve yem kalite özellikleri üzerindeki etkilerine yönelik araştırmalar yeterli değildir.

Bu çalışma, farklı PGPR özelliklerine sahip mikrobiyal gübre kombinasyonlarının yulafın ot verimi ve bazı yem kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma kapsamında farklı bakteri kombinasyonlarının bitki gelişimi, verim parametreleri ve yem kalite özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; mikrobiyal gübre uygulamalarının sürdürülebilir yem bitkisi üretimindeki potansiyelinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Alanı ve İklim Özellikleri

Araştırma, 2024–2025 yetiştirme döneminde Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Yerleşkesi araştırma alanlarında yürütülmüştür. Deneme alanı Akdeniz ikliminin etkisi altında bulunmakta olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı iklim özellikleri göstermektedir. Araştırmanın yürütüldüğü dönemde yıllık ortalama sıcaklık 15.2°C, toplam yağış miktarı ise 623.2 mm olarak kaydedilmiştir. Bölgedeki yağışların büyük bölümünün kış ve erken ilkbahar döneminde gerçekleşmesi, serin iklim tahıllarının gelişimi açısından uygun ekolojik koşullar oluşturmaktadır. Deneme alanı toprakları killi-tınlı bünyeye sahip olup, orta düzeyde kireç içermektedir. Yapılan toprak analizleri sonucunda toprakların organik madde bakımından düşük, azot ve fosfor bakımından yetersiz, potasyum bakımından ise yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Araştırma alanının düşük organik madde içeriği ve sınırlı besin elementi düzeyi, mikrobiyal gübre uygulamalarının etkilerinin ortaya konulması açısından uygun bir deneme ortamı oluşturmıştır.

Bitki Materyali

Araştırmada bitki materyali olarak Türkiye’de yaygın olarak yetiştirilen “Kahraman” yulaf (*Avena sativa* L.) çeşidi kullanılmıştır. Kahraman çeşidi, yüksek adaptasyon yeteneği, düzenli gelişim yapısı ve kaba yem üretim potansiyeli nedeniyle tercih edilen çeşitlerden biridir. Denemede kullanılan tohumluk materyali sertifikalı olarak temin edilmiş ve ekim öncesinde çimlenme gücü ile çıkış homojenliği açısından kontrol edilmiştir.

Bakteri Materyali ve Uygulamalar

Araştırmada bitki gelişimini teşvik edici rizobakteri (PGPR) özelliklerine sahip farklı bakteri kombinasyonları kullanılmıştır. Çalışmada kontrol uygulaması, kimyasal gübre uygulaması, ticari mikrobiyal gübre uygulaması ve 123-O-044 numaralı TUBİTAK projesinden elde edilen farklı bakteri kombinasyonlarından oluşan toplam 10 uygulama değerlendirilmiştir. Kullanılan bakteri suşları daha önce tarım toprakları ve bitki rizosferinden izole edilmiş olup; azot fiksasyonu, fosfor çözündürme, potasyum mobilizasyonu, siderofor üretimi, indol asetik asit (IAA) üretimi ve ACC deaminaz aktivitesi gibi PGPR özellikleri bakımından karakterize edilmiştir. Bakteri kültürleri Nutrient Agar ortamında geliştirilmiş ve daha sonra Nutrient Broth sıvı besiyerinde çoğaltılmıştır. Hazırlanan bakteri süspansiyonlarının yoğunluğu yaklaşık 10^8 CFU ml⁻¹ olacak şekilde ayarlanmıştır. Çoklu bakteri kombinasyonlarında her bakteri eşit hacim ve yoğunlukta karıştırılmıştır.

Denemenin Kurulması ve Yetiştirme Uygulamaları

Araştırma tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Deneme alanında ekim işlemi 28 Kasım 2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Ekim öncesinde yulaf tohumları yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuş ve daha sonra ilgili bakteri süspansiyonları ile aşılanmıştır. Tohum uygulamalarında bakteriler tohum yüzeyine homojen şekilde kaplanmış ve gölge ortamda kurutulduktan sonra ekim gerçekleştirilmiştir. Kimyasal gübre uygulamasında dekara 12 kg N ve 8 kg P₂O₅ uygulanmıştır. Deneme süresince yabancı ot mücadelesi elle yapılmış, herhangi bir kimyasal herbisit veya pestisit kullanılmamıştır. Yeşil ot hasadı süt olum döneminde, tane hasadı ise tam fizyolojik olgunluk döneminde gerçekleştirilmiştir.

İncelenen Özellikler

Araştırmada bitki boyu, salkım boyu, salkımda tane sayısı, 1000 tane ağırlığı, yeşil ot verimi, kuru ot verimi ve kuru madde oranı incelenmiştir. Bitki boyu ölçümleri toprak yüzeyi ile salkım ucu arasındaki mesafe ölçülerek belirlenmiştir. Salkım boyu ve salkımda tane sayısı her parselden seçilen örnek bitkiler üzerinden hesaplanmıştır. Bin tane ağırlığı ise dört adet 100'er dane örneğinin tartılmasıyla belirlenmiştir (Kün, 1996). Yeşil ot verimi parsellerden hasat edilen yaş biyokütlenin tartılmasıyla, kuru ot verimi ise 60 °C'de kurutulan örnekler kullanılarak hesaplanmıştır. Kuru madde oranı yaş ve kuru ağırlık değerlerinden elde edilmiştir (Açıkgöz, 2001). Kalite analizleri kapsamında ham protein, ham kül, NDF, ADF, ADL, kuru maddenin sindirilebilirliği (KMS) ve organik maddenin sindirilebilirliği (OMS) belirlenmiştir. Ham protein oranı Kjeldahl yöntemine göre hesaplanmış, ham kül analizi örneklerin 550 °C'de yakılmasıyla gerçekleştirilmiştir (AOAC, 1990). NDF, ADF ve ADL analizleri Van Soest ve ark. (1991)'e göre yapılmıştır. KMS ve OMS değerleri ise NIRS cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Shenk & Westerhaus, 1994).

İstatistiksel Analizler

Araştırmadan elde edilen veriler tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur. Uygulamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde LSD (Least Significant Difference) çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. İstatistiksel analizler JMP paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve değerlendirmelerde %5 ile %1 önem düzeyleri esas alınmıştır (SAS Institute, 2015).

Bulgular ve Tartışma

Bitki Boyu, Salkım Boyu, Salkımda Tane Sayısı ve Bin Dane Ağırlığı

Farklı PGPR özelliklerine sahip mikrobiyal gübre uygulamalarının yulafın bazı morfolojik ve verim özellikleri üzerine etkilerine ait ortalama değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre uygulamaların bitki boyu ve salkım boyu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0.05$), salkımda tane sayısı ve bin dane ağırlığı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

Çizelge 1. Farklı gübre uygulamalarının yulafın bazı morfolojik ve verim özellikleri üzerine etkileri

Table 1. Effects of different fertilizer applications on some morphological and yield characteristics of oats.

Gübre Uygulamaları	Bitki Boyu (cm)	Salkım Boyu (cm)	Salkımda Dane Sayısı (adet/salkım)	Bin Dane Ağırlığı (g)
GBF-120	102.27 b	17.25 b	41.57	41.33
F-8	102.27 b	17.97 b	48.60	43.80
Kontrol	106.00 ab	19.33 b	59.40	43.70
NPK	105.60 ab	17.23 b	51.87	40.17
BF-1	103.53 ab	17.55 b	59.77	43.10
GBF-80	105.53 ab	22.48 a	54.80	41.40
F-9	109.20 a	19.70 ab	58.73	40.27
VİTA	103.67 ab	19.45 b	57.03	41.13
F-1	109.60 a	19.17 b	50.27	42.60
F-10	108.87 a	17.62 b	49.10	40.73
LSD	5.92	1.44	Ö.D.	Ö.D.
P değeri	0.0110*	0.0280*	0.1788	0.8876

*: $p < 0.05$; Ö.D.: Önemli değil. Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre %5 düzeyinde fark yoktur.

Araştırmada en yüksek bitki boyu değerleri F-1, F-9 ve F-10 uygulamalarında elde edilmiştir. Özellikle F-1 uygulamasında belirlenen yüksek bitki boyu, söz konusu bakteri kombinasyonunun bitki büyümesini destekleyici etkileriyle ilişkili olabilir. Bu bakterilerin indol asetik asit (IAA) üretimi, fosfor çözündürme, potasyum mobilizasyonu ve ACC deaminaz aktivitesi gibi mekanizmalara sahip olması, kök gelişimini teşvik ederek bitkinin besin elementi alım kapasitesini artırmış olabilir. *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerini içeren kombinasyonların, sürgün gelişimi açısından daha olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Buna karşılık, GBF-

120 ve F-8 uygulamalarında daha düşük bitki boyu değerleri elde edilmiştir. Bu durum, yüksek mikrobiyal yoğunluğun rizosfer bölgesindeki etkileşimleri değiştirerek bitki büyümesini sınırlanmış olabileceğini düşündürmektedir. Elde edilen sonuçlar, PGPR uygulamalarının tahıllarda bitki gelişimini desteklediğini bildiren önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir (Vessey, 2003; Çakmakçı ve ark., 2007; Bhattacharyya & Jha, 2012). Salkım boyu bakımından en yüksek değer GBF-80 uygulamasında elde edilmiş, bunu F-9 uygulaması izlemiştir. Elde edilen sonuçlar, bazı PGPR kombinasyonlarının generatif gelişim üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Özellikle fosfor çözündürme ve potasyum mobilizasyonu sağlayan bakterilerin enerji metabolizmasını destekleyerek çiçeklenme ve salkım gelişimini olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir. Ayrıca PGPR'lerin fitohormon üretimi yoluyla hücre bölünmesi ve hücre uzamasını teşvik ettiği bilinmektedir. Buna karşılık yalnızca mineral gübre uygulamasının yapıldığı NPK uygulamasında daha düşük salkım boyu değerleri elde edilmiştir. Bu durum, generatif gelişimin yalnızca mineral beslenmeye değil; rizosfer aktivitesi, kök gelişimi ve hormonal denge gibi çok sayıda fizyolojik sürece bağlı olduğunu göstermektedir. Literatürde de *Bacillus* ve *Pseudomonas* türlerinin birlikte kullanımının bitki gelişimi ve biyokütle üretimi üzerinde sinerjik etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Egamberdieva, 2007; Adesemoye ve ark. 2008). Salkımda tane sayısı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık belirlenmemesine rağmen, BF-1, kontrol ve F-9 uygulamalarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Salkımda tane sayısı; genetik yapı, çevresel koşullar, fotosentetik kapasite ve generatif dönem koşullarından önemli ölçüde etkilenen bir özelliktir. Özellikle PGPR uygulamalarının fosfor çözündürme, kök gelişimini teşvik etme ve fitohormon üretimi gibi mekanizmalar yoluyla dane oluşumunu dolaylı olarak desteklediği düşünülmektedir. Buna karşılık GBF-120 uygulamasında en düşük tane sayısının belirlenmesi, yüksek doz mikrobiyal uygulamaların rizosfer dengesini olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir. Benzer sonuçlar daha önce tahıllarda yürütülen çalışmalarda da bildirilmiştir (Çakmakçı ve ark. 2001; Turan ve ark. 2012). Bin dane ağırlığı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık tespit edilmesine rağmen, en yüksek değerler F-8, kontrol ve BF-1 uygulamalarında belirlenmiştir. Bin dane ağırlığı, tane dolum süreci, karbonhidrat taşınımı ve fotosentetik etkinlik ile doğrudan ilişkili önemli bir verim unsurudur. Özellikle F-8 uygulamasında yer alan *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* ve *Bacillus atrophaeus* suşlarının fosfor çözündürme ve besin elementi mobilizasyonu yoluyla tane dolum sürecini desteklemiş olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında kontrol uygulamasında da yüksek değerlerin belirlenmesi, bin dane ağırlığının çevresel koşullar ve genetik yapıdan güçlü şekilde etkilendiğini göstermektedir. Literatürde PGPR uygulamalarının tahıllarda tane gelişimi ve verim unsurları üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Canbolat ve ark. 2006; Adesemoye ve ark. 2008; Ekinci ve ark. 2014).

Yeşil Ot Verimi, Kuru Ot Verimi ve Kuru Madde Oranı

Farklı mikrobiyal gübre uygulamalarının yulafın yeşil ot verimi, kuru ot verimi ve kuru madde oranı üzerine etkileri Çizelge 2'de verilmiştir. Sonuçlar, uygulamaların yeşil ot verimini önemli düzeyde etkilediğini ($p < 0.01$), buna karşın kuru ot verimi ve kuru madde oranı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığını ($p > 0.05$) göstermiştir. Yeşil ot verimi bakımından en yüksek değer 2462.78 kg/da ile F-1 uygulamasından elde edilmiş, bunu BF-1 (2442.22 kg/da), F-10 (2300.00 kg/da) ve F-9 (2271.67 kg/da) uygulamaları izlemiştir. En düşük yeşil ot verimi ise 1670.00 kg/da ile NPK uygulamasında belirlenmiştir. Kuru ot verimi bakımından en yüksek değer BF-1 uygulamasında (1007.14 kg/da) elde edilirken, en düşük değer NPK uygulamasında (680.38 kg/da) belirlenmiştir. Kuru madde oranı bakımından ise en yüksek değer %44.01 ile VİTA uygulamasında, en düşük değer ise %37.53 ile F-1 uygulamasında belirlenmiştir.

Çizelge 2. Farklı gübre uygulamalarının yulafın yeşil ot verimi, kuru ot verimi ve kuru madde oranı üzerine etkileri
Table 2. Effects of different fertilizer applications on green forage yield, dry forage yield and dry matter content of oats.

Gübre Uygulamaları	Yeşil Ot Verimi (kg/da)	Kuru Ot Verimi (kg/da)	Kuru Madde Oranı (%)
GBF-120	1867.78 de	783.70	41.80
F-8	2243.89 abcd	896.03	40.07
Kontrol	2038.89 bcde	834.92	41.19
NPK	1670.00 e	680.38	40.52
BF-1	2442.22 ab	1007.14	41.32
GBF-80	1961.67 cde	800.26	40.81
F-9	2271.67 abcd	926.71	41.25
VİTA	1977.22 cde	869.88	44.01
F-1	2462.78 a	921.98	37.53
F-10	2300.00 abc	865.91	38.20
LSD (%5)	459.52	Ö.D.	Ö.D.
P değeri	0.0096	0.0598	0.8751

*: Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre %5 düzeyinde fark yoktur.

Araştırmada özellikle F-1 ve BF-1 uygulamalarında yüksek yeşil ve kuru ot verimlerinin elde edilmesi, çoklu PGPR özelliklerine sahip bakteri kombinasyonlarının yulafın vejetatif gelişimini desteklediğini göstermektedir. Bu uygulamalarda yer alan *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* ve *Peribacillus simplex* suşlarının azot fiksasyonu, fosfor çözüldürme, potasyum mobilizasyonu, siderofor üretimi, İAA sentezi ve ACC deaminaz aktivitesi gibi bitki gelişimini teşvik edici özelliklere sahip olması, kök gelişimi ve besin elementi alım etkinliğini artırarak biyokütle üretimini olumlu yönde etkilemiş olabilir. Özellikle İAA üretiminin kök yüzey alanını artırması ve rizosfer aktivitesini desteklemesi, bitkinin su ve besin maddelerinden daha etkin yararlanmasını sağlamış olabilir. PGPR uygulamalarının yem bitkilerinde biyokütle üretimini artırdığı birçok araştırmada bildirilmektedir. Çakmakçı ve ark. (2007), PGPR uygulamalarının arpa bitkisinde sürgün gelişimi ve biyokütle oluşumunu artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Canbolat ve ark. (2006), *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerinin bitki gelişimi ve besin elementi kullanım etkinliği üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Yolcu ve ark. (2012) ise İtalyan çiminde PGPR uygulamalarının kuru madde verimini artırdığını ifade etmiştir. Yulaf üzerinde yürütülen çalışmalarda da PGPR uygulamalarının yeşil ot ve kuru madde verimi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmektedir (Bilal ve ark. 2017; Khan ve ark. 2022). Elde edilen bulgular, mevcut araştırma sonuçları ile uyum göstermektedir. Araştırmada mineral gübre uygulaması olan NPK'nın hem yeşil ot hem de kuru ot verimi bakımından en düşük değerleri oluşturması dikkat çekicidir. Bu durum, yalnızca mineral gübre uygulamasının mevcut deneme koşullarında biyokütle üretimini artırmada yeterli olmadığını, buna karşılık mikrobiyal uygulamaların rizosfer süreçlerini düzenleyerek daha etkili sonuçlar oluşturabildiğini düşündürmektedir. PGPR uygulamalarının yalnızca besin elementi yararıyla artırmadığı; aynı zamanda kök gelişimini teşvik ettiği, fitohormon üretimi sağladığı ve bitki stres toleransını geliştirdiği bilinmektedir. Bu nedenle mikrobiyal uygulamaların, özellikle sürdürülebilir yem bitkileri yetiştiriciliğinde önemli bir biyolojik gübreleme alternatifi oluşturabileceği değerlendirilmektedir. Kuru madde oranı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel farklılık oluşmaması, bu özelliğin büyük ölçüde çevresel koşullar, hasat dönemi ve bitkinin fizyolojik gelişim düzeyi tarafından şekillendiğini göstermektedir. Bununla birlikte VİTA uygulamasında daha yüksek kuru madde oranının elde edilmesi, ticari mikrobiyal gübre uygulamasının bitki su dengesi ve hücre duvarı gelişimi üzerinde dolaylı etkiler oluşturmuş olabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık F-1 ve F-10 uygulamalarında düşük kuru madde oranlarının belirlenmesi, bu uygulamalarda yüksek yeşil biyokütle üretimine bağlı olarak bitki dokularında daha fazla su tutulduğunu göstermektedir. Bu durum, PGPR uygulamalarının kuru madde oranından çok toplam biyokütle üretimi üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Peribacillus* türlerini içeren PGPR kombinasyonlarının yulaf yetiştiriciliğinde yeşil ve kuru biyokütle üretimini artırma potansiyeline sahip

olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, mikrobiyal gübre uygulamalarının sürdürülebilir kaba yem üretim sistemlerinde kimyasal gübre kullanımını azaltabilecek önemli biyolojik girdiler olabileceğini göstermektedir.

Ham Protein ve Ham Kül Oranları

Farklı mikrobiyal gübre uygulamalarının yulafın ham protein ve ham kül oranı üzerine etkileri Çizelge 3'te verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, gübre uygulamalarının ham protein ve ham kül oranı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Bununla birlikte uygulamalar arasında belirgin sayısal farklılıkların bulunduğu görülmüştür. Ham protein oranı bakımından en yüksek değer %11.83 ile NPK uygulamasında belirlenirken, bunu F-10 (%10.85), F-8 (%10.84) ve GBF-80 (%10.83) uygulamaları izlemiştir. En düşük ham protein oranı ise %9.75 ile kontrol uygulamasında elde edilmiştir. Ham kül oranı bakımından ise en yüksek değer %9.69 ile GBF-120 uygulamasında belirlenmiş, bunu GBF-80 (%9.23), F-10 (%9.20) ve BF-1 (%8.95) uygulamaları izlemiştir. En düşük ham kül oranı ise %7.65 ile VİTA uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 3. Farklı gübre uygulamalarının yulafın ham protein ve ham kül oranı üzerine etkileri

Table 3. Effects of different fertilizer applications on crude protein and crude ash content of oats.

Gübre Uygulamaları	Ham Protein (%)	Ham Kül (%)
GBF-120	10.69	9.69
F-8	10.84	8.50
Kontrol	9.75	8.70
NPK	11.83	8.36
BF-1	10.02	8.95
GBF-80	10.83	9.23
F-9	10.45	8.67
VİTA	10.34	7.65
F-1	10.41	8.43
F-10	10.85	9.20
LSD (%5)	Ö.D.	Ö.D.
P değeri	0.7248	0.6092

*: Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre %5 düzeyinde fark yoktur.

Araştırmada ham protein oranı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel farklılık oluşmamasına rağmen, özellikle NPK ve bazı PGPR uygulamalarında kontrol grubuna göre daha yüksek protein oranlarının elde edilmesi dikkat çekicidir. Ham protein oranı, yem bitkilerinde kaliteyi belirleyen temel kriterlerden biri olup büyük ölçüde bitkinin azot metabolizması ile ilişkilidir. Mineral azot uygulamasının bulunduğu NPK uygulamasında en yüksek ham protein oranının belirlenmesi, bitkinin doğrudan alınabilir azot kaynağına ulaşmasının protein sentezini artırdığını göstermektedir. Benzer şekilde Alatürk (2012), Gökkuş (1990) ve Özaslan (1996), azotlu gübre uygulamalarının mera ve yem bitkilerinde ham protein oranını artırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte F-8, F-10 ve GBF-80 gibi PGPR uygulamalarında da yüksek protein oranlarının elde edilmesi, mikrobiyal uygulamaların bitkinin azot kullanım etkinliğini artırabileceğini düşündürmektedir. Özellikle *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis* ve *Bacillus megaterium* gibi PGPR özellikli bakterilerin fosfor çözündürme, kök gelişimini teşvik etme ve rizosfer aktivitesini artırma yoluyla protein sentezine dolaylı katkı sağlayabileceği bilinmektedir (Vessey, 2003; Bhattacharyya & Jha, 2012). Çakmakçı ve ark. (2007) da PGPR uygulamalarının tahıllarda kalite parametreleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Elde edilen bulgular, mikrobiyal uygulamaların yem kalite özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ham kül oranı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşmamakla birlikte, özellikle GBF-120, GBF-80 ve F-10 uygulamalarında daha yüksek değerlerin elde edilmesi dikkat çekicidir. Ham kül oranı, bitki bünyesinde bulunan toplam mineral madde miktarını ifade etmekte olup bitkinin mineral beslenme düzeyi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Özellikle PGPR uygulamalarının fosfor ve potasyum çözündürme, siderofor üretimi ve kök gelişimini teşvik etme gibi mekanizmalar aracılığıyla bitki besin elementi yararıyla artırdığı bilinmektedir. Bu nedenle bazı uygulamalarda yüksek ham kül oranlarının belirlenmesi, bitkinin mineral madde alım kapasitesinin artmış

olabileceğini düşündürmektedir. Vessey (2003) ile Adesemoye ve ark. (2008), PGPR uygulamalarının bitkilerde besin elementi kullanım etkinliğini artırarak mineral madde birikimini desteklediğini bildirmiştir. Benzer şekilde Mehrvarz ve Chaichi (2008), fosfor çözücü mikroorganizmaların tahıllarda kalite özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiştir. Buna karşılık VİTA uygulamasında düşük ham kül oranının belirlenmesi, hızlı biyokütle artışına bağlı olarak mineral maddelerin bitki bünyesinde seyreliş olabileceğini düşündürmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, mikrobiyal gübre uygulamalarının ham protein ve ham kül oranı üzerine istatistiksel olarak önemli etkiler oluşturmadığı, ancak bazı PGPR kombinasyonlarının yem kalite özellikleri üzerinde olumlu eğilimler meydana getirdiği söylenebilir. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerini içeren uygulamaların bitki besin elementi kullanım etkinliğini artırarak yem kalitesini iyileştirme potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Neutral Detergent Fiber, Acid Detergent Fiber ve Acid Detergent Lignin Oranları

Farklı mikrobiyal gübre uygulamalarının yulafın NDF, ADF ve ADL oranları üzerine etkileri Çizelge 4'te verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, gübre uygulamalarının NDF, ADF ve ADL oranları üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Bununla birlikte uygulamalar arasında belirli düzeyde sayısal farklılıkların bulunduğu görülmüştür. NDF oranı bakımından en düşük değer %52.21 ile VİTA uygulamasında, en yüksek değer ise %55.59 ile F-10 uygulamasında belirlenmiştir. ADF oranı bakımından en düşük değer %38.30 ile VİTA uygulamasında elde edilirken, en yüksek değer %40.46 ile kontrol uygulamasında belirlenmiştir. ADL oranı bakımından ise en düşük değer %11.12 ile GBF-120 uygulamasında, en yüksek değer ise %11.55 ile NPK uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4. Farklı gübre uygulamalarının yulafın NDF, ADF ve ADL oranları üzerine etkileri

Table 4. Effects of different fertilizer applications on NDF, ADF and ADL levels of oats.

Gübre Uygulamaları	NDF (%)	ADF (%)	ADL (%)
GBF-120	54.71	39.13	11.12
F-8	54.66	39.52	11.22
Kontrol	55.35	40.46	11.27
NPK	53.01	38.59	11.55
BF-1	55.07	39.47	11.32
GBF-80	53.86	38.96	11.29
F-9	54.78	39.58	11.46
VİTA	52.21	38.30	11.16
F-1	54.06	39.93	11.24
F-10	55.59	40.12	11.54
LSD (%5)	Ö.D.	Ö.D.	Ö.D.
P değeri	0.3587	0.6600	0.4500

*: Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre %5 düzeyinde fark yoktur.

NDF, ADF ve ADL değerleri yem bitkilerinde hücre duvarı bileşenlerini ifade eden temel kalite parametreleri olup, yem tüketilebilirliği ve sindirilebilirliği ile doğrudan ilişkilidir. NDF oranı arttıkça yem tüketimi azalmakta; ADF ve ADL oranlarının yükselmesi ise sindirilebilirlik ve enerji değerinin düşmesine neden olmaktadır (Van Soest, 1994). Bu nedenle düşük NDF, ADF ve ADL değerleri yem kalitesi açısından olumlu değerlendirilmektedir. Araştırmada özellikle VİTA uygulamasında düşük NDF ve ADF değerlerinin elde edilmesi, ticari mikrobiyal gübre uygulamasının bitki hücre duvarı bileşenlerinin birikimini sınırlandırmış olabileceğini düşündürmektedir. Rizobakterilerin besin elementi kullanım etkinliğini artırması ve bitki metabolizmasını düzenlemesi sonucunda daha genç, daha yumuşak ve sindirilebilir dokuların oluşmuş olabileceği değerlendirilmektedir. Benzer şekilde GBF-80 uygulamasında da nispeten düşük NDF ve ADF değerlerinin belirlenmesi, bazı PGPR kombinasyonlarının yapısal karbonhidrat sentezini sınırlayarak yem kalitesini olumlu etkileyebileceğini göstermektedir. Buna karşılık F-10, BF-1 ve kontrol uygulamalarında daha yüksek NDF değerlerinin belirlenmesi, bu uygulamalarda yapısal biyokütle ve hücre duvarı bileşenlerinin daha yoğun oluştuğunu düşündürmektedir. Özellikle hızlı vejetatif gelişim ile birlikte selüloz, hemiselüloz ve lignin sentezinin artması, lif oranlarının yükselmesine neden olabilmektedir. Benzer şekilde F-10 ve kontrol uygulamalarında nispeten yüksek ADF değerlerinin elde edilmesi, bu uygulamalarda daha fazla yapısal lif

birikimi gerçekleştiğini göstermektedir. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerini içeren bazı PGPR kombinasyonlarının biyokütle üretimini artırırken aynı zamanda hücre duvarı bileşenlerinin sentezini de artırmış olabileceği düşünülmektedir. ADL oranı bakımından en düşük değerin GBF-120 uygulamasında elde edilmesi dikkat çekicidir. ADL, lignin fraksiyonunu temsil etmekte olup, yem sindirilebilirliğini sınırlandıran temel bileşenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Lignin oranının azalması, yemlerin rumende daha kolay parçalanabilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle GBF-120 uygulamasında düşük ADL değerinin belirlenmesi, bu uygulamanın lignifikasyon düzeyini sınırlandırmış olabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık NPK ve F-10 uygulamalarında daha yüksek ADL değerlerinin belirlenmesi, hızlı biyokütle üretimine bağlı olarak yapısal dokuların kalınlaşması ve lignin sentezinin artması ile ilişkili olabilir. Elde edilen bulgular literatürde bildirilen çalışmalarla paralellik göstermektedir. Alatürk (2012), mera bitkilerinde gelişme döneminin ilerlemesine bağlı olarak NDF, ADF ve ADL oranlarının arttığını ve bunun yem kalitesini olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Eren (2026), bazı PGPR uygulamalarının tahıllarda lif oranlarını düşürerek yem sindirilebilirliğini iyileştirdiğini belirtmiştir. Mehrvarz ve Chaichi (2008) ile Vessey (2003), biyolojik gübre uygulamalarının bitki metabolizması ve hücre duvarı oluşumu üzerinde dolaylı etkiler oluşturabileceğini ifade etmişlerdir. Adesemoye ve ark. (2008) ise çoklu PGPR uygulamalarının bitki gelişimi ve kalite parametreleri üzerinde sinerjik etkiler meydana getirdiğini bildirmiştir. Araştırmada uygulamalar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli bulunmaması, NDF, ADF ve ADL oranlarının çevresel koşullar, genetik yapı, hasat dönemi ve bitkinin gelişme düzeyi gibi faktörlerden güçlü şekilde etkilenen kalite parametreleri olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte özellikle VİTA, GBF-80 ve GBF-120 uygulamalarında elde edilen düşük lif oranları, bazı mikrobiyal gübre uygulamalarının yem tüketilebilirliği ve sindirilebilirliği açısından olumlu sonuçlar oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, PGPR uygulamalarının hücre duvarı bileşenlerinin birikimini sınırlandırarak yem kalite özellikleri üzerinde iyileştirici etkiler oluşturabileceği söylenebilir.

Kuru ve Organik Maddelerin Sindirilebilirliği

Farklı mikrobiyal gübre uygulamalarının yulafın kuru maddenin sindirilebilirliği (KMS) ve organik maddenin sindirilebilirliği (OMS) üzerine etkileri Çizelge 5'te verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, gübre uygulamalarının hem KMS hem de OMS oranları üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Bununla birlikte uygulamalar arasında belirli düzeyde sayısal farklılıkların bulunduğu görülmüştür. KMS bakımından en yüksek değer %46.50 ile VİTA uygulamasında belirlenirken, en düşük değer %40.99 ile F-10 uygulamasında elde edilmiştir. OMS bakımından da benzer şekilde en yüksek değer %43.99 ile VİTA uygulamasında, en düşük değer ise %38.76 ile F-10 uygulamasında belirlenmiştir. GBF-80, F-8 ve BF-1 uygulamalarında da kontrol uygulamasına kıyasla daha yüksek sindirilebilirlik değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5. Farklı gübre uygulamalarının yulafın KMS ve OMS oranları üzerine etkileri

Table 5. Effects of different fertilizer applications on the KMS and OMS ratios of oats.

Gübre Uygulamaları	KMS (%)	OMS (%)
GBF-120	42.47	40.17
F-8	42.90	40.57
Kontrol	41.18	38.94
NPK	42.38	40.06
BF-1	42.75	40.43
GBF-80	43.26	40.91
F-9	42.56	40.26
VİTA	46.50	43.99
F-1	42.03	39.75
F-10	40.99	38.76
LSD (%5)	Ö.D.	Ö.D.
P değeri	0.6236	0.6911

*: Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre %5 düzeyinde fark yoktur.

Kuru maddenin ve organik maddenin sindirilebilirliği, kaba yemlerin hayvanlar tarafından değerlendirilebilirliğini belirleyen temel kalite kriterleri arasında yer almaktadır. Özellikle NDF, ADF ve ADL

gibi hücre duvarı bileşenlerinin düşük olması, yemlerin sindirilebilirliğini artırmaktadır (Van Soest, 1994). Bu nedenle araştırmada VİTA uygulamasında elde edilen yüksek KMS ve OMS değerleri dikkat çekici bulunmuştur. Aynı uygulamada düşük NDF ve ADF değerlerinin belirlenmiş olması, sindirilebilirlikteki artışı desteklemektedir. Ticari mikrobiyal gübre uygulamasının bitki hücre duvarı bileşenlerinin birikimini sınırlandırarak daha sindirilebilir biyokütle oluşumunu desteklemiş olabileceği düşünülmektedir. GBF-80 uygulamasında da nispeten yüksek KMS ve OMS değerlerinin elde edilmesi, bazı PGPR özellikli bakterilerin bitki metabolizması ve hücre duvarı kompozisyonu üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Özellikle fosfor ve potasyum çözündürme kapasitesine sahip bakterilerin besin elementi kullanım etkinliğini artırarak daha kaliteli biyokütle oluşumuna katkı sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca rizobakterilerin kök gelişimini teşvik ederek su ve besin maddesi alımını artırması, bitkide daha dengeli yapısal gelişim oluşmasına neden olmuş olabilir. Vessey (2003), PGPR uygulamalarının bitki beslenmesi ve hücre duvarı oluşumu üzerinde dolaylı etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Mehrvarz ve Chaichi (2008), biyolojik gübre uygulamalarının yem kalite özellikleri ve sindirilebilirlik üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu belirtmiştir. Araştırmada F-10 ve kontrol uygulamalarında daha düşük KMS ve OMS değerlerinin elde edilmesi, bu uygulamalarda hücre duvarı bileşenleri ve yapısal lif oranlarının daha yüksek düzeyde gerçekleşmiş olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle F-10 uygulamasında yüksek NDF ve ADF değerlerinin belirlenmiş olması, sindirilebilirlikteki düşüşü açıklamaktadır. Lif oranı ve lignin içeriğindeki artışın sindirilebilirliği azaltıcı etkisi birçok araştırmada bildirilmektedir (Van Soest, 1994). Ayrıca lignifikasyon düzeyinin artması, organik bileşiklerin rumen mikroorganizmaları tarafından parçalanmasını sınırlandırarak hem KMS hem de OMS değerlerini düşürebilmektedir. Elde edilen bulgular literatürde bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Alatürk (2012), mera bitkilerinde uygun gübreleme uygulamalarının sindirilebilirlik ve kalite derecesini artırdığını bildirmiştir. Eren (2026) ise mikrobiyal gübre uygulamalarının arpa bitkisinde yem kalite parametrelerini iyileştirdiğini ve sindirilebilirlik üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu belirtmiştir. Ayrıca Adesemoye ve ark. (2008), çoklu PGPR uygulamalarının bitki gelişimi ve kalite parametreleri üzerinde sinerjik etkiler meydana getirdiğini ifade etmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, gübre uygulamalarının KMS ve OMS oranları üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmamakla birlikte, bazı PGPR uygulamalarının yem sindirilebilirliği üzerinde olumlu eğilimler oluşturduğu görülmektedir. Özellikle VİTA ve GBF-80 uygulamalarının hem KMS hem de OMS değerlerini artırması, bu uygulamaların yulafın yem kalite özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, PGPR içerikli mikrobiyal gübre uygulamalarının serin iklim tahıllarında yalnızca verim değil, aynı zamanda yem sindirilebilirliği ve besleme değeri açısından da önemli bir biyolojik gübreleme alternatifi olabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu araştırmada, farklı PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) özelliklerine sahip mikrobiyal gübre kombinasyonlarının Çanakkale ekolojik koşullarında yetiştirilen yulafın (*Avena sativa* L.) verim ve yem kalite özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçları, özellikle bazı PGPR kombinasyonlarının yulafın vejetatif gelişimi ve biyokütle üretimi üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Yeşil ot verimi bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiş ve en yüksek değerler F-1, BF-1, F-10 ve F-9 uygulamalarında elde edilmiştir. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerini içeren kombinasyonların biyokütle üretimini artırdığı belirlenmiştir. Kuru ot verimi, kuru madde oranı, salkımda tane sayısı ve 1000 tane ağırlığı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ortaya çıkmamış, bazı PGPR uygulamalarında kontrol uygulamasına kıyasla daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bitki boyu ve salkım boyu bakımından ise özellikle çoklu bakteri kombinasyonlarının vejetatif gelişimi desteklediği belirlenmiştir. Ot kalite özellikleri bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmamış olsa da bazı PGPR uygulamalarında kalite parametreleri açısından nispeten daha olumlu değerler elde edilmiştir. Özellikle VİTA uygulaması, düşük lif oranları ve yüksek sindirilebilirlik değerleri ile diğer uygulamalardan ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlar, *Pseudomonas* ve *Bacillus* türlerini içeren PGPR kombinasyonlarının yulaf yetiştiriciliğinde biyolojik gübreleme açısından değerlendirilebileceğini

göstermektedir. Bununla birlikte, farklı ekolojik koşullarda yürütülecek uzun süreli araştırmalarla bu bulguların desteklenmesi yararlı olacaktır.

Ek Bilgiler ve Beyanlar

Teşekkür: Bu çalışma, Nisasu COŞKUNLAR'ın "Çanakkale Koşullarında Bazı Mikrobiyal Gübre Çeşitlerinin Yulaf'ın (*Avena sativa* L.) Ot Verimi ve Kalitesi Üzerine Etkileri" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Ayrıca çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 123-O-044 numaralı TÜBİTAK-1001 projesi kapsamında yürütülmüştür. Araştırmanın gerçekleştirilmesine sağladığı katkılar ve desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve proje yürütücüsü Prof. Dr. Ramazan ÇAKMAKÇI'ya teşekkür ederiz.

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

- Açıkgöz, E. (2001). *Yem Bitkileri*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa.
- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2008). Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. *Canadian Journal of Microbiology*, 54(10), 876–886.
- Alatürk, F. (2012). Effects of fertilization on yield and chemical composition of rangelands in Çanakkale Province (Master Thesis). Çanakkale Onsekiz Mart University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Çanakkale, Türkiye, pp. 125.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R., & Karadağ, Y. (2009). *Yem Bitkileri Genel Bölüm Cilt I*. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, İzmir.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Smith, D. L., et al. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Mechanisms and applications in agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 1–20.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1327–1350.
- Bilal, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M., & Nadeem, M. A. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic sources of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 236–241.
- Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber, H., & Zechner, E. (2007). Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing conditions. *Field Crops Research*, 101(3), 343–351.
- Canbolat, M. Y., Bilen, S., Çakmakçı, R., Şahin, F., & Aydın, A. (2006). Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 350–357.
- Çakmakçı, R., Dönmez, F., & Erdoğan, Ü. (2001). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley growth and nutrient uptake. *Atatürk University Journal of Agricultural Faculty*, 32(1), 9–15.
- Çakmakçı, R., Dönmez, F., & Erdoğan, Ü. (2007). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, some soil properties and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 189–199.
- Egamberdieva, D. (2007). The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*, 36, 184–189.
- Ekinci, M., Turan, M., Yıldırım, E., Güneş, A., Kotan, R., & Dursun, A. (2014). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of cauliflower transplants. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 13(6), 71–85.
- Eren, Y. E. (2026). Mikrobiyal gübre uygulamalarının arpa bitkisinde verim ve kalite özellikleri üzerine etkileri. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 1–15.
- Gökkuş, A. (1990). Erzurum Ovası Taban Çayırlarında Farklı Gübre Unsurlarının Ot Verimi ve Kalitesi ile Botani Kompozisyona Etkileri (Doktora tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Hoffmann, L. A. (1995). World production and use of oats. In R. W. Welch (Ed.), *The Oat Crop: Production and Utilization* (pp. 34–61). Chapman & Hall, London.

- Karaca, A., & Turgay, O. C. (2012). Tarım topraklarında kimyasal gübre kullanımının çevresel etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 1–10.
- Khan, M. A., & ark. (2022). Effects of PGPR applications on forage yield and quality traits in oat. *Journal of Plant Nutrition*, 45(8), 1124–1136.
- Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In *Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria* (Vol. 2, pp. 879–882), Angers, France.
- Kün, E. (1996). *Tahullar-I*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1451, Ankara.
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556.
- Mehrvarz, S., & Chaichi, M. R. (2008). Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barley. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(6), 855–860.
- Özaslan, A. (1996). Taban Meralarda Azotlu Gübrelemenin Verim ve Kalite Üzerine Etkileri (Yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Pieterse, C.M.J., Zamioudis, C., Berendsen, R.L., Weller, D.M., Van Wees, S.C.M., & Bakker, P.A.H.M. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347–375.
- SAS Institute. (2015). *JMP® 13 Basic Analysis*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shenk, J. S., & Westerhaus, M. O. (1994). The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In *Forage Quality, Evaluation and Utilization* (pp. 406–449). American Society of Agronomy, Madison.
- Topal, A., Acar, Z., & Mut, H. (2015). Yulafın yem değeri ve hayvan beslemedeki önemi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(2), 150–158.
- Turan, M., Ekinci, M., Yıldırım, E., Güneş, A., Karagöz, K., Kotan, R., & Dursun, A. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient and hormone content of cabbage seedlings under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 327–333.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press, Ithaca, New York.
- 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.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571–586.
- Yolcu, H., & ark. (2012). Effects of PGPR applications on forage yield and quality traits in Italian ryegrass under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 11(42), 9920–9926.